

ŘADA B
PRO KONSTRUKTÉRY

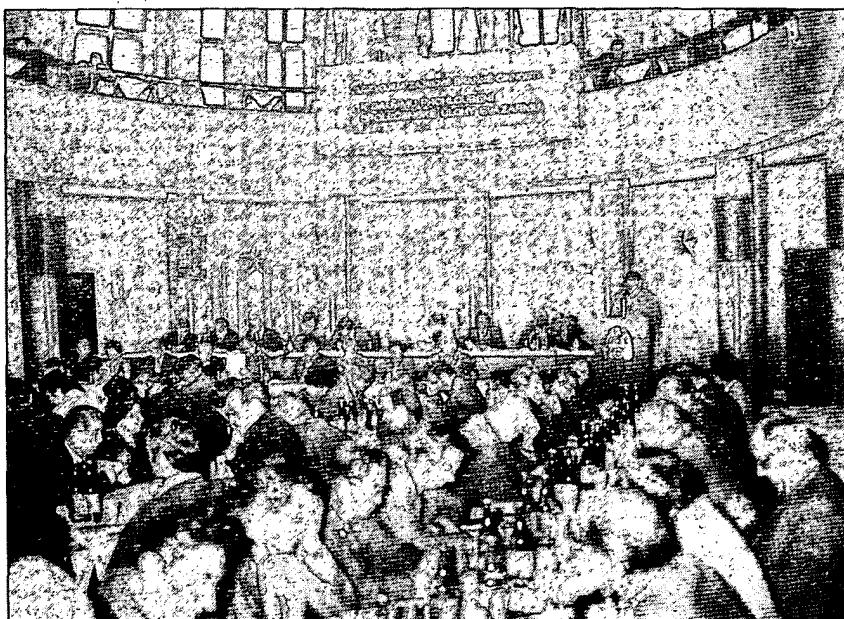
ČASOPIS
PRO ELEKTRONIKU
A AMATÉRSKÉ VYSÍLÁNÍ
ROČNÍK XXX/1981 ČÍSLO 3

V TOMTO SEŠITĚ

Rozvíjet zájmovou a brannou činnost 81

**ZÁKLADNÍ ELEKTRONICKÉ OBVODY
V PRAXI**

Objevy, vynálezy, patenty a zlepšovací návrhy 82
Zapojení s operačními zesilovači 85
Definice základních pojmu, zásady pro používání, kompenzace 86
Invertující OZ 87
Sčítací zesilovač, neinvertující OZ, derivacní a integrační zesilovač 88
Diferenční zesilovač 89
Obvody ke zvětšení vstupní impedance 90
Urovňové komparátory napětí 91
Proudový komparátor 93
OZ a měření odporu 94
Referenční zdroje 95
Měření teploty s OZ 97
Převodník pro měření ef. hodnoty st napětí 98
Elektromechanický stabilizátor síťového napětí 99
Nátechnika 101
Čjálové obvody
Monostabilní klopné obvody 102
Astabilní klopné obvody 104
Děliče kmitočtu a čítací 104
Komparátory 110
Převodníky 110
Otáčkoměry 116
Skupinový diskriminátor šířky impulsu 120



6. zasedání ÚV Svazarmu: ROZVÍJET ZÁJMOVOU A BRANNU ČINNOST

Na svém 6. zasedání dne 27. února 1981 projednal ÚV Svazarmu stav rozvoje zájmové branné činnosti, důležitého prostředku masového branně výchovného působení naší organizace. Posoudil plnění přijatých koncepcí směrů a úkolů dalšího rozvoje zájmových branných činností z hlediska jednoty politického a odborného působení a přínos zájmové branné činnosti při plnění branné společenské role Svazarmu.

ÚV Svazarmu konstatoval, že úkoly stanovené VI. sjezdem Svazarmu v oblasti zájmové branné činnosti vcelku úspěšně plníme. Reservy spatřuje v tom, že ne všechny masové branné soutěže dosud patřičně přispívají k ideo-vývojové výchově a že ne všichni branně výchovní pracovníci a instruktoři spojují svoji odbornou činnost s angažovanou politickovýchovnou prací.

Nedostatky byly konstatovány i v oblasti polytechnické výchovy. Citováno z návrhu usnesení: „Přetrhávají nedostatky v masovém rozvoji branné technické činnosti. To se týká především radioamatérství, elektroakustiky a videotekniky. Málo bylo dosud vykonáno pro rozvoj základní branné přípravy s využitím komplexu disciplín Odznaku branné přípravnosti. Trvající rozpor se projevuje mezi požadavkem masového rozvoje zájmových branných činností, stavem současné materiálně technické základny a schopnosti jejího efektivnějšího využívání.“

Můžeme předpokládat, že splněním úkolů, stanovených v usnesení 6. zasedání ÚV Svazarmu, se posune naše zájmová branná činnost – radioamatérství – o další krok kupředu. Na základě tohoto usnesení bude Federálnímu ministerstvu pro technický a investiční rozvoj předložen návrh systému materiálně technického zabezpečení zájmové branné činnosti, který sleduje zvýšení podílu Svazarmu na polytechnické výchově, a ÚV, ČÚV a SÚV Svazarmu budou společně řešit otázky materiálně technického a investičního zabezpečení zájmové branné činnosti ve Svazarmu na základě podrobné analýzy situace ve dvou různých okresech. Bude opět vydána příručka „Směry a úkoly dalšího rozvoje radistické činnosti Svazarmu“ (do konce června 1982), protože jsou stále ještě radiokluby a základní organizace, kam „nepronikla“.

Pokud jde o otázkou odborných instruktorů, dostaly ústřední, republikové i krajské rady

jednotlivých svazarmovských odborností za úkol provést do konce letosního roku analýzu účinnosti systému přípravy branně výchovných kádrů a navrhnout územním orgánům Svazarmu opatření ke zkvalitnění.

Krajským a okresním výborům Svazarmu usnesení 6. zasedání ÚV Svazarmu uložilo projednat přijaté závěry s hlavním zřetelem k pomocí základním organizacím a jejich klubům (do konce června 1981). Seznamte se proto s dokumenty 6. zasedání ÚV Svazarmu, které jsou již nyní k dipozici v souhrnném vydání na každém OV Svazarmu.

Problematikou rozvoje zájmové branné činnosti se zabývá nová publikace s názvem „Práce ZO Svazarmu s koncepcemi zájmových branných činností“ autora plk. Jaroslava Musílka, vydaná ÚV Svazarmu začátkem letosního roku.

I když jsme připustili, že snad ještě existují některé radiokluby a ZO Svazarmu, jejichž členové si brožuru „Směry a úkoly dalšího rozvoje radistické činnosti Svazarmu“ zatím neprostudovali (ti nechť si nenechají ujít její reedici), většina našich radioamatérů se s jejím obsahem jistě seznámila, protože po slánném nové koncepci je také zlepšit naši práci a její celospolečenský dopad. Přesto – nebo právě proto – doporučujeme funkcionářům našich radioklubů, ZO Svazarmu a kolektivních stanic, aby při studiu a práci s novou koncepcí radioamatérské činnosti ve Svazarmu věnovali pozornost zmíněné práci plk. Jaroslava Musílka. Znalost obsahu této práce rozhodně přispěje k lepšímu pochopení nové koncepce radioamatérské činnosti a usnadní její aplikaci do praxe. Dejme slovo autorovi této publikace, plk. Jaroslavu Musílkovi (úvodní slovo k práci):

AMATÉRSKÉ RADIO ŘADA B

Vydává ÚV Svazarmu ve vydavatelství NAŠE VOJSKO, Vladislavova 26, PSČ 113 66 Praha 1, telefon 26 06 51-7. Zastupující šéfredaktor Luboš Kalousek, OK1FAC. Redakční rada: K. Bartoš, V. Brázek, RNDr. V. Brunnhofer, K. Donáth, A. Glanc, I. Harminc, M. Háša, Z. Hradík, P. Horák, J. Hudec, ing. J. T. Hyanc, ing. J. Jaroš, doc. ing. dr. M. Joachim, ing. J. Klabal, ing. F. Králik, RNDr. L. Kryška, ing. E. Mocík, V. Němec, K. Novák, RNDr. L. Ondříš, ing. O. Petráček, ing. E. Smutný, doc. ing. J. Vackář, laureát st. ceny KG, ing. J. Zíma. Redakce Jungmannova 24, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51, 1, 353, sekretářka I. 355. Ročně výdeje 6 čísel. Cena výtisku 5 Kčs, pololetní předplatné 15 Kčs. Rozšířuje PNS, v jednotkách ozbrojených sil vydavatelství NAŠE VOJSKO, administrace Vladislavova 26, Praha 1. Objednávky přijímá každá pošta i doručovatel. Objednávky do zahraničí využívejí PNS, vývoz tisku, Jindřišská 14, Praha 1. Tiskne NAŠE VOJSKO, n. p., závod 08, 162 00 Praha 6 – Liboc, Vlastina 710. Za původnost a správnost příspěvku odpovídá autor. Návštěvy v redakci a telefonické dotazy pouze po 14. hodině. Číslo indexu 46 044.

Toto číslo má výjít podle plánu 28. května 1981.
© Vydavatelství NAŠE VOJSKO, Praha

„Ve Svazarmu nabývá stále většího významu zájmová činnost, v níž se ztváří, využívá a rozvíjí zájem občanů a mládeže v souladu s potřebami socialistické společnosti.“

Zvláštní péče o rozvoj zájmových činností v základních organizacích vyvstala do popředí v souvislosti s řešením požadavku masovějšího působení Svazarmu. Jejich úkoly jsou konkretizovány v dokumentech znárných všem svazarmovcům pod názvem koncepte zájmových činností. Jejich vypracování a projednání v orgánech ústředního výboru Svazarmu bylo spjato s řešením úkolů, které vyplynuly pro Svazarm ze závěrů XV. sjezdu Komunistické strany Československa.

Nové koncepce orientují základní organizace a jejich kluby k aktuálnímu politickému úkolu Svazarmu – pod vedením KSČ pomáhat ozbrojeným silám při zajišťování obrany a branné výchově a přípravě občanů.

Realizace koncepcí zájmových branných činností má a bude mít povahu dlouhodobého procesu, který nepochyběně bude ovlivněn závěry XVI. sjezdu Komunistické strany Československa.

Tato publikace, která vychází z vojenskopolitického programu XIV. a XV. sjezdu KSČ, z usnesení PÚV KSČ z 19. 3. 1971 a z 30. 3. 1973, ze zasedání ÚV KSČ zejména z roku 1980 a z rezoluce VI. celostátního sjezdu Svazarmu, si neklade za cíl vykládat systematicky, obsah jednotlivých koncepcí tak, jak je postupně ÚV Svazarmu schválila, a tím tyto dokumenty nahrazovat, ale chce přispět k jednotnému chápání cílů a úkolů dalšího rozvoje svazarmovských zájmových činností. Činí tak se zřetelem k praktickým potřebám základních organizací a jejich klubů.

Celá publikace podává v šesti částech (I. Rozvoj masovosti – náročný požadavek VI. sjezdu Svazarmu, II. Význam svazarmovských zájmových činností, III. Nové koncepce rozvoje svazarmovských zájmových činností, IV. Základní organizace a kluby střediskem masové politické práce Svazarmu, V. Za výši dovednosti a návyky v zájmových činnostech Svazarmu, VI. Za větší masovost branných sportů a za výši výkony) ucelený pohled na otázky zájmové branné činnosti a způsob zpracování svědčí o zkoušenostech autora v tomto oboru nejen v našich podmírkách, ale i v branných organizacích jiných socialistických států. Politickovýchovné oddělení ÚV Svazarmu ve svém průvodním slově vydavatele této publikaci uvádí pod názvem „Masový rozvoj zájmových činností Svazarmu“, což je rovněž výstížně, některé čtenářům by to však mohlo zmýlit.

Autor poukazuje také na rezervy v zájmové branné činnosti, které potvrdilo 6. zasedání ÚV Svazarmu, a ukazuje jejich příčiny:

„Činnost v klubech již delší dobu ovlivňuje silící rozpor mezi potřebami a existujícími zdroji prostředků vlastními příjmy. I když ještě dlouho neubude Svazarm schopen sám pokrýt výdaje na svou činnost, nelze přehlížet fakt, že příjmy z vlastních zdrojů nejsou úměrné nákladům na řadu zájmových činností a organizovaných akcí. Společným jmenovatelem toho je ve většině organizací Svazarmu nedostatečná péče o proporcionalní rozvíjení činností a materiálně technické základny s přihlédnutím k prioritám některých oborů. Řešení těchto problémů vyžaduje nové přístupy k hospodaření s finančními prostředky i v materiálně technické, hospodářské a investiční oblasti. Nejasněnost jednotlivých směrů v zabezpečení činnosti v základních článkách Svazarmu má za následek jistou živelnost ve finanční a investiční činnosti, její nerovnoměrné rozložení a obtížné prosazování právě ve prospěch větší masovosti.“

A k problému politickovýchovného působení zájmové branné činnosti autor uvádí:

„Zvláště aktuálním požadavkem je jednota politického a odborného působení a její řešení v praxi klubů. V praxi mnohých klubů jsme stále svědky stavu, jako by výchova a zájmová odborná příprava byly dva od sebe oddělené komponenty svazarmovského působení. Vzájemnou vazbu obou nejlépe dokumentuje již léty prověřená pravda, kterou v minulosti vyjádřil sám J. A. Komenský myšlenkou: „Kdo prospívá v učení a hyne v mravech, vice hyne

než prospívá. Člověk, který mnoho zná a doveze, nemusí být ještě dobrým člověkem, byla-li zanedbána jeho výchova.“

Věříme, že několik stručných ukázk z práce plk. J. Musíka přispěje k jejímu proniknutí mezi širokou svazarmovskou veřejnost a hlavně mezi svazarmovské funkcionáře a tím i k dalšímu zlepšování podmínek i výsledků naší zájmové branné činnosti.

ZÁKLADNÍ ELEKTRONICKÉ OBVODY V PRAXI

Ing. M. Arendáš, Ing. M. Ručka

Naším záměrem bylo sestavit příručku, která by byla přínosem pro konstruktéry – elektroniky. Každý z nás, kdo se jen trochu zajímá o elektroniku, pročítá časopisy a odborné publikace. Nápadu a zapojení, které jej zajímají, si obvykle zaznamenává do sešitu, aby v době, kdy začne něco z oblasti elektroniky potřebovat, nemusel bud prohledávat celé ročníky časopisů, nebo vymýšlet něco, co již bylo vymýšleno. Tentokrát jsme do takového sešitu sáhli a předkládáme výhled z něho k nahlédnutí všem čtenářům a odběratelům AR. Jsou to v podstatě „poznámky“, sebrané za určité časové období, doplněné o praktické poznatky z konstrukce obvodů a přístrojů.

Objevy, vynálezy, patenty a zlepšovací návrhy

Je zajímavé, jak velký je současný zájem o technické časopisy typu Amatérského rádia – jeho náklad dosahuje nákladu mnoha populárních periodik. Zkoumáme-li příčiny zjistíme, že časopis odebírají nejen radioamatéři, kterým bylo AR původně určeno, ale i profesionálové v oboru, neboť i téměř má po odborné stránce „co říci“. Odběrateli jsou i četní zájemci o radiotechniku a spotřební elektroniku. Tím vším rostou i úkoly časopisu. Musí si držet takovou úroveň, aby odborným teoretickým příspěvkům rozuměli pokud možno všichni čtenáři a naopak, aby různé stavební návody měly tolik vtipu, že zaujmou i odborníky. Časopis samozřejmě sleduje vývoj techniky a je jedním ze základních pramenů poznávání tohoto vývoje. Z této úvahy vychází i myšlenka, že pomáháli časopis k technické výchově v oboru elektroniky, pomáhá zpětně i rozvoji tohoto oboru techniky tím, že poučení čtenáři získané poznatky dokáží přenést na svá pracoviště, všimají si více technických problémů, někdy je dokáží i řešit a svého koníčka doveďou převést i do technicky odlišných oborů. Samotná myšlenka, nápad, však nestačí. Každý technik musí umět svou technickou myšlenku přetvořit ve skutečnost. Musí ji umět sam realizovat nebo řídit její reálnici.

Jednou z výšších forem práce technika je zlepšovatelské hnutí. Z hlediska národního hospodařství toto hnutí není zanedbatelné – představuje ročně hodnoty kolem šesti miliard korun. Zlepšovatelských návrhů je u nás podáno ročně mnoho desítek tisíc, přihlášek vynálezů kolem desíti tisíc. Mnohé podniky při zavádění nového výrobku přímo počítají, o kolik se zmenší původní náklady lilem zlepšení, která vzniknou ze zlepšovacích návrhů (to je známá situace v automobilách – zejména pracnot se na novém typu zmenší zavedením zlepšovacích návrhů jen v prvním roce výroby až o 10%). Ačkoli nikdo nepochybuje o užitečnosti zlepšovatelského hnutí, v současné době v naší literatuře seriózní návody (určené zejména mladším zájemcům), jak postupovat při tom, chce-li někdo svůj nápad realizovat jako zlepšovací návrh, vynález nebo objev. V populárních časopisech se mnoho píše o atraktivních kolem vynálezů a vynálezců. Různí autoři si bohužel

všimají více všelijakých výstřelků kolem vynálezů a vynálezce zařazují do jakési kategorie podivin, které neznají nic jiného, než práci nad jedním úkolem. Slovo „vynálezce“ dostává v naší řeči téměř hanlivý výraz.

Pak je třeba se ptát, jak to s vynálezectvím ve skutečnosti u nás je. Zejména proto, že naše socialistická společnost, socialistický průmysl, vynálezectví podporuje. Vláda se snaží vynálezectví zákonými opatřeními preferovat a rozvíjet jako neoddelitelnou složku rozvoje průmyslu. Nejprve bych upozornil na několik obecných zásad a pak poukázel na základní pravidla a zákonné ustanovení, vztahující se k vynálezectví.

Mohu-li posoudit celý problém z několika případů, které osobně znám, dělají nezkušení vynálezci v zásadě dvě hlavní chyby. První chybu je vynalézat a objevovat a teprve potom pro svůj objev hledat výrobce, odběratele a vymýšlet různá uplatnění. Překonat bariéru, vzniklou sortimentem výrobků, plány výroby, výrobě-odběratelské vztahy, směrnými čísly výroby a požadavky velkooběratelů, je pro nezkušeného jednotlivce, přicházejícího se svým novým vynálezem, o kterém je přesvědčen, že „to“ je právě to, co společnost potřebuje, obvykle vůbec nemozné. Pokud v této fázi nemá výjimečné štěstí a pokud jeho vynález nějakým způsobem nezapadne do výrobního programu nějakého výrobce, dochází obvykle k desiluzím a často mnohaletá práce nejen že není odměněna, ale přichází vničě. Správně je svoje úsilí věnovat věcem, které jsou potřebné. Zpočátku si všimat „tematických úkolů“, věnovat se zlepšování výroby a výrobků, s nimiž přicházíme do styku. Nejschůdnější cestou je přenáset poznatky např. z elektroniky do různých jiných oborů.

Druhou základní chybou je, že se začátečník obvykle stará o věci nepodstatné a nesouštědří se na věci základní. Podstatou je, že autor musí umět svůj nápad převést do praxe. Vždy, ať jde o zlepšovací návrh, vynález nebo objev je nutné, aby bylo možno myšlenku realizovat. Realizátorem musí být sám objevitel – nebo alespoň musí umět tu realizaci technicky řídit – to je na první pohled skromná podmínka, ale byvá prubířským kamenem. Množí si ji v celém rozsahu neuvedenomu, realizaci podečnuji, a proto neuspějí. Při vynálezecí činnosti je výhodné vytvářet pracovní týmy, v nichž se především na realizaci vynálezu podílejí zástupci různých profesí: technici různých zaměření,

dělník realizátor apod. Zákon taková spojení tvůrce umožnuje a při přihlašování zlepšovatelských návrhů i vynálezů může být jako autor uveden jak jednotlivec, tak celý kolektiv. Podle definice je autorem objevu, vynálezu, zlepšovacího návrhu nebo průmyslového vzoru ten, kdo učinil objev, vytvořil vynález, zlepšovací návrh nebo průmyslový vzor vlastní tvůrce prací, a u zlepšovacího návrhu též ten, kdo použil řešení převzaté z odborné literatury nebo z praxe jiné organizace a tvůrčím způsobem je přizpůsobil podmínek příslušné organizace. Spoluautory objevu, vynálezu, zlepšovacího návrhu nebo průmyslového vzoru jsou osoby, které se na nich podílely společnou tvůrčí prací.

Věta „podílet se vlastní tvůrčí prací“ není náhodná. Je citací ze zákona č. 84/1972 Sb. o objevech, vynálezech, zlepšovacích návrzích a průmyslových vzorech. Ten, kdo např. donutí svého podřízeného k tomu, že jej přibere jako spoluautora a nepodílí se na „tvůrčí práci“, jedná proti zákonu.

Základním stupněm je „zlepšovací návrh“. Mnohé podniky využadují, aby vynálezce každý vynález nebo objev k tomu vhodný přihlásil nejprve jako zlepšovací návrh. Naopak by mělo být pro každou racionalizační komisi závodu, projednávající zlepšovací návrh, samozřejmě, že má posoudit, není-li podaný zlepšovací návrh zároveň vhodný k projednání jako objev nebo vynález.

Zlepšovacím návrhem je konkrétní vyřešení výrobně technického, technicko-organizačního nebo organizačně hospodářského problému organizace, které je v této organizaci nové a jehož využití přináší společenský prospěch. Zlepšovacím návrhem nemůže být vyřešení takového úkolu, který má autor v popisu práce, a který je jeho pracovním úkolem. To však neplatí v případech, kdy autor vyřeší „tematický úkol“. Zlepšovací návrh může být v organizaci nový. To je zejména tehdy, když nebyly před podáním přihlášky zlepšovacího návrhu;
a) provedeny přípravy, které směřují k využívání řešení shodného s předmětem přihlášky zlepšovatelského návrhu;
b) nebylo shodné řešení obsaženo v závazných předpisech nebo příkazech (jako např. v technických normách, instrukcích apod.). Na závadu novosti návrhu není, bylo-li řešení v organizaci využito z podnětu autora během tří měsíců před podáním přihlášky. Jestliže autor nejprve zlepšovací návrh realizuje, prakticky ověří a potom teprve podá přihlášku, nežbauje se priority.

Zlepšovacím návrhem není:

- a) pouhé vytyčení úkolu;
- b) pouhé doporučení nákupu zařízení nebo materiálu, není-li současně navržen výhodnější způsob jejich využívání nebo opatřování;
- c) návrh na změnu právního předpisu;
- d) upozornění na porušování platného předpisu nebo na nedostatky a chyby způsobené zřejmou nedbalostí třetí osoby.

Prevedeme-li si vše na konkrétní případ, není zlepšovacím návrhem, navrhne-li nákup vysokozdvižných vozíků do skladu, byť se tím ušetřily např. dvě pracovní sily.

Práva a povinnosti zlepšovatele

Přihlášku zlepšovacího návrhu může podat každý občan, který předmět přihlášky vytvořil nebo spolu vytvořil, nebo jeho dědic. Formulář přihlášky je typizovaný jako tiskopis SEVT 10 0840. Přihláška zlepšovacího návrhu se podává v organizaci, jejíž předmětu činnosti se přihláška týká. Pokud jde o několik organizací, lze přihlášku podat jejich nadřízené složce.

Právním a důležitým pojmem je „správce zlepšovacího návrhu“. To je státní organizace, která první rozhodla kladně o přihlášce zlepšovacího návrhu. Je povinna pečovat o jeho plánovité všeestranné využívání a nakládat s ním v souladu se zájmům státu a národního hospodářství; zejména je povinna zlepšovací návrh rozšiřovat a pečovat o ochranu oprávněných zájmů autora.

S kladným rozhodnutím o zlepšovacím návrhu vydá organizace současně jeho autrovi zlepšovatelský průkaz. Zlepšovatelským průkazem organizace uznává předmět přihlášky za zlepšovací návrh, stvrzuje, že ho využije, stvrzuje autorství a právo přednosti ke zlepšovacímu návrhu v rámci organizace, zlepšovatelským průkazem se dále stvrzuje ve vzájemném souladu práva státu a autora zlepšovacího návrhu. Autoru zlepšovacího návrhu přísluší právo na odměnu za využití a právo na účast při rozpracování, zkoušení a zavádění zlepšovacího návrhu. Zruší-li organizace své kladné rozhodnutí o zlepšovacím návrhu proto, že dodatečně zjistí, že nebyly splněny podmínky pro jeho využívání, pozbývá zlepšovatelský průkaz platnosti.

Zamítla-li organizace přihlášku zlepšovacího návrhu, může přihlašovatel ve lhůtě jednoho měsíce od zamítnutí přihlášky nebo od zrušení rozhodnutí o využívání požádat o přezkoumání rozhodnutí orgánu přímo nadřízený organizaci. Žádost o přezkoumání se podává prostřednictvím organizace, která přihlášku zlepšovacího návrhu zamítla nebo zrušila své rozhodnutí o využívání. Tato organizace může sama vyhovět žádosti a změnit rozhodnutí. V opačném případě je povinna předložit žádost do jednoho měsíce nadřízenému orgánu spolu se svým odůvodněným stanoviskem.

Využívá-li organizace zlepšovacího návrhu, jehož je možno využívat v několika organizacích, je povinna jej předat svému nadřízenému orgánu nebo přímo dalším organizacím, o nichž je jí známo, že by ho mohly využívat. O tomto předání je organizace povinna informovat autora zlepšovacího návrhu. Stejně povinno má organizace i u návrhů, kterých nevyužila, u nichž však předpokládá možnost využití v jiné organizaci.

Zlepšovací návrh, došly organizaci cestou rozšiřování zlepšovacích návrhů, se projedná jako přihláška zlepšovacího návrhu, podaná přímo v organizaci.

Odměnu za využití zlepšovacího návrhu vyplácí organizace, která zlepšovacího návrhu využila. Využívá-li zlepšovacího návrhu více organizací, může za ně odměnu vyplatit jejich společný nadřízený orgán. Nadřízený orgán má právo požadovat od využívajících organizací, aby mu uhradily poměrnou část vyplacené odměny. Podíly stanoví nadřízený orgán podle toho, v jakém rozsahu organizace zlepšovacího návrhu využily.

Všechny využívající organizace jsou povinny sdělit správci rozsah využití zlepšovacího návrhu a výši vyplacené odměny. To platí přiměřeně i pro oznámení povinnost organizací vůči nadřízenému orgánu, který za ně vyplatil odměnu za využití zlepšovacího návrhu.

Organizace je povinna před rozhodnutím umožnit přihlašovateli, aby se mohl vyjádřit k výsledku jejího průzkumu. Toto ustanovení se nepoužije, hodlá-li organizace rozhodnout o přihlášce zlepšovacího návrhu kladně.

Organizace rozhodne o přihlášce zlepšovacího návrhu nejpozději do dvou měsíců od doby, kdy přihláška došla, a oznámi své rozhodnutí přihlašovateli. V kladném rozhodnutí organizace přihlašovateli, že předmět přihlášky splňuje podmínky stanovené pro zlepšovací návrh, a dobu počátku využití zlepšovacího návrhu.

Využaduje-li projednání přihlášky zlepšovacího návrhu rozsáhlejší šetření a nelze-li

proto do dvou měsíců rozhodnout, stanoví organizace další přiměřenou lhůtu k rozhodnutí a se zůvodněm seznámí přihlašovatele. Obdobně se postupuje u přihlášky zlepšovacího návrhu, která byla současně podána jako řešení tematického úkolu.

Využitím zlepšovacího návrhu je skutečné provedení navrhovaného opatření v organizaci. Přihlašovatel nemůže přihlášku zlepšovacího návrhu po jejím podání odvdat ani zrušit.

Vyšším stupněm vynálezecké činnosti je „objev“. Objevem je stanovení dosud neznámých, objektivně existujících jevů, vlastnosti nebo zákonitosti materiálního světa, dokázáne vědeckou metodou.

Objevem není:

- a) stanovení vlastností nových látek a vztanu mezi těmito vlastnostmi, které na základě známých přírodních zákonitostí a stavu techniky lze běžně odvodit z vlastností již obdobných látek;
- b) zpřesnění hodnot zkoumaných veličin;
- c) konkretizace známých zákonitostí;
- d) nález geologický, geografický, archeologický a paleontologický.

Dokázáním vědeckou metodou se rozumí experimentální prokázání, nebo, nepřipouštěli to povaha předmětu přihlášky objevu, alespoň provedení teoretického důkazu.

Na objevy uděluje Úřad pro patenty a výnálezy (UPV) diplomy. Diplomy se neudělují na objevy z oblasti společenských věd. Diplom se uděluje na jméno autora objevu. Udělením diplomu se předmět přihlášky uznává za objev, stvrzuje se autorství k objevu – autoru objevu vzniká právo na odměnu a na výhody stanovené zákonem.

Odměnu za objev stanoví UPV po projednání s Československou akademii věd nebo Slovenskou akademii věd nebo Československou akademii zemědělskou; odměnu vyplácí UPV.

Byl-li objev učiněn autorem nebo některým ze spoluautori při plnění úkolů z pracovního poměru, členské nebo jiného obdobného vztahu k organizaci nebo v přímé souvislosti s jejich plněním nebo za hmotné podpořu organizace, je autor povinen uvědomit bezodkladně o objevu tuto organizaci. Organizace je povinna působit k tomu, aby byla podána přihláška objevu i přihlášky vynálezu, které vyplynívají z tohoto objevu.

Vynálezem je vyřešení technického problému, které je nové a znamená ve srovnání se světovým stavem techniky pokrok, projevující se novým nebo vyšším účinkem.

Vynálezem není vyřešení technického problému, nelze-li předmět přihlášky vynálezu průmyslově vyrábět nebo podle něho postupovat při výrobě. Vynálezem rovněž není vyřešení technického problému, které je v rozporu se společenskými zájmy, zejména se zásadami lidskosti a socialistickou moralou.

Úřad pro patenty a vynálezy uděluje na vynálezy autorská osvědčení nebo patenty. Zákon č. 84/1972 Sb. o objevech a vynálezech, zlepšovacích návrzích a průmyslových vzorech stanoví, že autor může žádat první ochranu autorským osvědčením nebo patentem. Osvědčením se potvrzuje přihlašovateli autorství a právo přednosti k vynálezu, který se tak uznává za vynález, dále se ve vzájemném souladu stvrzuje práva státu a autora. To platí o dne podání – zaznamenává se proto nejen den, ale i hodina a minuta – a u autorského osvědčení nejsou na rozdíl od patentu, jehož platnost trvá 15 let, práva časově omezena.

Vynálezy chráněné autorským osvědčením jsou národním majetkem a autorům náleží příslušná odměna, kterou je třeba podle zákona nejen správně stanovit, ale i včas vyplatit. Vynálezcí, který žádá o takové osvědčení, poskytuje organizace podle zákona zdarma účinnou pomoc po celou dobu řízení včetně realizace. Naši autoři a autoři ze zemí RVHP využívají výhradně ochrany formou osvědčení, což je pro ně výhodnější.

Výhradné autorské osvědčení se uděluje na vynálezy:

- a) které autor nebo některý ze spoluautorů vytvořil v pracovním poměru k organizaci nebo za její hmotné podporu;
- b) laték vzniklých přeměnou atomových jáder a technických řešení spojených se získáváním nebo využíváním jáderné energie;
- c) léčiv, chemicky vyrobených látek, požívání a průmyslových produkčních mikroorganismů.

UVP může vyzvat přihlašovatele, aby zavedení předmětu přihlášky, vynálezu nebo jinou vhodnou technickou metodou prokázal jeho uskutečnitelnost a dosahování účinek; neprokáže-li to přihlašovatel bez významného důvodu, má se za to, že přihlašovaný předmět není uskutečnitelný, popř. že se jím nedosahuje nového nebo vyššího účinku.

V průběhu projednávání přihlášky vynálezu UVU zveřejní po předchozím upozornění přihlašovatele popis a výkresy předmětu přihlášky a toto zveřejnění oznamí ve Věstníku. U zveřejněných přihlášek může kdokoli podat námitky proti udělení autorského osvědčení nebo patentu ve lhůtě do tří měsíců ode dne, kdy zveřejnění bylo oznámeno ve Věstníku. Vynálezy vytvořené v ČSSR a vynálezy vytvořené čs. státními občany zahraničními se v zahraničí mohou být přihlášeny do zahraničí až po přihlášení v ČSSR a jen se souhlasem UVU. Souhlas UVU je rovněž třeba k odvolání přihlášky vynálezu podané v zahraničí a k upuštění od udílení patentu uděleného v zahraničí.

Jak u zlepšovacího návrhu, tak i u vynálezu existuje pojem „správce“. Nejčastěji to je organizace, u níž je autor v pracovním poměru. Je povinna na žádost autora bezplatně spolupůsobit při vypracování a podání přihlášky jeho vynálezu a zajistit jeho zastupování v řízení o přihlášce vynálezu, který náleží do předmětu její činnosti, a v níž se žádá o udělení autorského osvědčení. Pomoc poskytne organizaci i autoru, který není v pracovním poměru k organizaci, s výjimkou případu, kdy je patrné, že nejde o vynálež prospěšný pro národní hospodářství.

Nakonec je třeba zmínit se o posledním typu „zlepšovatelské“ činnosti, který stojí trochu na okraji techniky. Je to „průmyslový vzor“. Průmyslovým vzorem je vyřešení vnější úpravy výrobku, plošné nebo prostorové, které je nové použitelné v průmyslové výrobě. Vnější úprava výrobku spočívá zejména ve zvláštním vnějším vzhledu, tvaru, obrysech, kresbě, barvě nebo ve zvláštním uspořádání barev anebo v kombinaci těchto znaků. Průmyslový vzor je použitelný v průmyslové výrobě, jestliže se podle něho mohou opakovatelně vyrábět výrobky průmyslovým způsobem. Průmyslovým vzorem nemůže být využit výrobek, který je v rozporu se společenskými zájmy, zejména se zásadami lidskosti a socialistickou moralikou.

Typickým průmyslovým vzorem bývají např. tvary lahviček některých nápojů. Stejně jako u vynáležů uděluje UVU na průmyslové vzory osvědčení nebo patenty. Platí zde podobná právní ustanovení a podobná „pravidla hry“ jako u patentového řízení.

Některá ze zákoných práv vynálezců

Organizace, u níž je autor v pracovním poměru, je povinna umožnit mu účast při projednávání přihlášky objevu, přihlášky vynálezu, v níž se žádá o udělení autorského osvědčení, a přihlášky průmyslového vzoru, v níž se žádá o udělení osvědčení na průmyslový vzor. Organizace má povinnost přizvat autora k účasti při rozpracování, zkoušení a zavádění jeho vynálezu, zlepšovacího návrhu a průmyslového vzoru, u nichž právo k využití přísluší státu; u zlepšovacího návrhu nemá však organizace uvedenou povinnost tehdy, když by náklady na účast autora byly ve značném nepoměru k předpokládanému společenskému prospěchu z využití zlepšovacího návrhu, nebo by jej neprávně ovlivnily. Organizace, u níž je autor v pracovním poměru, musí autoru umožnit tuto spolupráci a poskytnout mu v nezbytně nutném rozsahu pracovní volno; jde-li o spolupráci při rozpracování, zkoušení nebo zavádění řešení v jiné organizaci, dohodne tato organizace poskytnutí pracovního volna s organizací, s níž je autor v uvedeném vztahu. Pokud spolupráce autora při rozpracování, zkoušení nebo zavádění řešení spadá do pracovní doby vyplývající pro něho z pracovního poměru, poskytne mu za tuto dobu náhradu mzdy ve výši průměrného výdělku organizace, u níž je v pracovním poměru; pomáhá-li v této době při rozpracování, zkoušení nebo zavádění řešení v jiné organizaci, uhradí tato organizace vyplacenou náhradu organizaci, která mu náhradu mzdy vyplatila. Uskutečňuje-li se spolupráce autora při rozpracování, zkoušení nebo zavádění jeho řešení mimo jeho pracovní dobu, upraví se vzájemná práva a povinnosti z toho vyplývající dohodou o provedení práce.

Autor vynálezu, zlepšovacího návrhu a průmyslového vzoru, u nichž právo k využití přísluší státu, má nárok na úhradu příměřených nákladů spojených s vypracováním výkresů, modelů nebo prototypů, pokud je organizace při zjíšťování, zdaže vynálezu, zlepšovacího návrhu a průmyslového vzoru využit, nebo při jejich využití rádně převzala.

Právo na odměnu vzniká autoru udělením diplomu na objev, využitím vynálezu, na který bylo uděleno autorské osvědčení, využitím zlepšovacího návrhu, na který byl vydán zlepšovatelský průkaz, a využitím průmyslového vzoru, na který bylo uděleno osvědčení. Nerozhodne-li o přihlášce zlepšovacího návrhu organizace ve dvouměsíční nebo prodloužené lhůtě a využívá-li předmětu přihlášky, má jeho autor nárok na odměnu, spíše-li předmět výhlášky podmínky zlepšovacího návrhu. Odměna za objev se určí podle jeho společenského významu a vyplácí se nejpozději do šesti měsíců po udělení diplomu. Výše odměny za využití vynálezu, zlepšovacího návrhu a průmyslového vzoru závisí na společenském prospěchu využívající organizace. Odměna za využití vynálezu, zlepšovacích, návrhů a průmyslových vzorů a náhrady za výkresy, modely a prototypy stanoví využívající organizace podle příslušných předpisů. Organizace je povinna nejpozději do jednoho měsíce ode dne, kdy byla stanovena výše odměny, seznámit autory

s podklady, které sloužily ke stanovení výše odměny za vynálež, zlepšovací návrh a průmyslový vzor. Splatnost odměn a náhrad dohodnou strány ve smlouvě. Pokud si strany nedohodnou kratší lhůtu, je odměna splatná do jednoho měsíce po uplynutí jednoho roku od počátku využívání vynálezu, zlepšovacího návrhu nebo průmyslového vzoru. Důležité je i to, že při zrušení diplomu za objev, autorského osvědčení na vynálež nebo kladného rozhodnutí o zlepšovacím návrhu, odměna ani její část se nevracejí, „pokud byly nabity v dobré věře“. Odměny za zlepšovací návrhy, vynálezy, průmyslové vzory a objevy se nesmějí slučovat s jinými druhy odměn a případně vzájemně kombinovat. Výše odměny je určena vyhláškou UVU č. 106 ze dne 12. prosince 1972, str. 26 (je uveden přímo sazebník odměn).

Zákon podporuje zavádění nové techniky a vynálezecky také tím, že i osoby, které se iniciativně zúčastnily rozpracování, zkoušení nebo zavádění objevu, vynálezu, zlepšovacího návrhu nebo průmyslového vzoru, u nichž právo k využití přísluší státu, mají právo na odměnu za tuto účast. Právo na odměnu za tuto účast však nepřísluší vedoucímu hospodářským pracovníkům organizace, jejichž hmotná záinteresovanost je upravena zvláštními předpisy, nebo těm pracovníkům organizace, u nichž tato účast vyplývá z jejich pracovních povinností. Osoby, které upozorní organizaci na možnost využití vynálezu nebo zlepšovacího návrhu „zavedeného“ již v jiné organizaci, mají vůči organizaci, která zavedla vynálež nebo zlepšovací návrh na základě jejich upozornění, právo na odměnu za toto upozornění. Právo na tuto odměnu nemají však pracovníci, k jejichž pracovním povinnostem patří též sledovat a navrhovat zavádění nové techniky nebo nových pracovních metod.

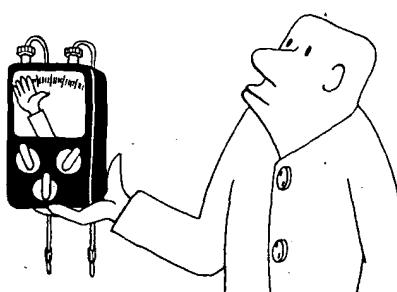
Spory

V zásadě spory, týkají-li se:

- a) autorství k objevu, vynálezu, zlepšovacímu návrhu a průmyslovému vzoru,
- b) zda objev, vynálež či průmyslový vzor vytvořil autor nebo některý ze spoluautorů v pracovním poměru k organizaci nebo za její hmotné podporu,
- c) práva předchozího uživatele,
- d) odměny za objev, vynálež, zlepšovací návrh a průmyslový vzor, zejména spory o vznik nároku na odměnu, způsob stanovení odměny a o její výši,
- e) odměny za vyřešení tematického úkolu, za účast na rozpracování nebo zavádění objektu, vynálezu, zlepšovacího návrhu nebo průmyslového vzoru, za upozornění na možnost využití vynálezu nebo zlepšovacího návrhu,
- f) porušení práv z autorského osvědčení nebo z osvědčení na průmyslový vzor, vyřizuje vždy odborový orgán. Spory mezi organizacemi z právních vztahů, týkajících se objevu, vynálezu, zlepšovacích návrhů a průmyslových vzorů rozhodují orgány hospodářské arbitráže.

Odborový orgán musí dbát, aby byl při jednání zjištěn skutečný stav věci co nejúčelněji a nejrychleji, a aby sjednaný smír byl v souladu s platnými předpisy. Po schválení smíru si vyzádá odborový orgán od účastníků sporu potřebné podklady a přizve k jednání účastníky sporu a podle potřeby i další osoby, které mohou přispět k objasnění věci. Po dobu smíření řízení v odborovém orgánu, nejdéle však po dobu tří měsíců, neběží doba promlčení. Smír nabývá právní moci dnem, kdy odborový orgán vydal rozhodnutí o jeho schválení. Schválený smír je závazný pro účastníky i pro všechny orgány.

Nebyla-li splněna ve stanovené lhůtě povinnost převzít schválený smír, může se oprávněný domáhat u soudu soudního



výkonu tohoto smíru. Schválení smíru odborovým orgánem může být zrušeno soudem, zjistí-li se, že je v rozporu s právními předpisy. Soud v tomto případě rozhodne ve věci samé. Návrh na zrušení smíru může podat účastník sporu, státní orgán nebo společenská organizace nejpozději do tří let od právní moci smíru.

Odborový orgán zruší na návrh kteréhokoli účastníka sporu schválení smíru, jestliže se dodatečně zjistily mimořádně závažné okolnosti, kterých tento účastník nemohl bez své viny použít a které odůvodňují podstatně přiznivější rozhodnutí v jeho prospěch. Návrh na zrušení smíru může účastník podat pouze do tří měsíců ode dne, kdy se dozvěděl o okolnostech odůvodňujících navrhovanou změnu, nejpozději do tří let od právní moci smíru.

Ústřední orgány státní správy federace a republik jsou oprávněny uložit pokutu za porušení povinnosti stanovených tímto zákonem, pokud tím byly způsobeny průtahy nebo nezajištování podmínek pro přihlašování, projednávání, zkoušení, využívání a rozšířování vynálezů, zlepšovacích návrhů a průmyslových vzorů, u nichž státu přísluší právo k využití, nebo pokud tím bylo způsobeno omezení nebo poškození majetkových nebo jiných práv státu nebo autorů. Jestliže do třetího dne od podání návrhu nebyl smír odborovým orgánem schválen, může účastník navrhnut, aby spor byl postoupen bezodkladně soudu, nebo se může obrátit přímo na soud. Příslušným soudem je okresní soud, v jehož obvodu má smíření orgán své sídlo.

Shrneme-li vše, co bylo řečeno, musí pracovník, který se cítí poškozen, nejprve svoji stížnost přednést orgánu ROH a když neuspěje, může se obrátit se svým sporem k soudu. Orgánem ROH pro smíření řízení se rozumí závodní výbor základní organizace ROH té organizace, která je příslušná ke stanovení a vyplacení odměny poskytované v souvislosti s vynálezem, zlepšovacím návrhem nebo průmyslovým vzorem. Závodní výbor může pověřit provedením smíření řízení svou komisi pro hnutí vynálezů a zlepšovatelů, tato komise však musí mít nejméně sedm členů.

Smíření řízení se zahajuje na návrh občana nebo na návrh organizace. Návrh na zahájení smíření řízení se podává u smířného orgánu. Návrh může být podán písemně nebo ústně do protokolu, který sepiše pověřený člen smířného orgánu nebo pracovník organizace pověřený k tomu smířím orgánem se souhlasem organizace.

V návrhu je třeba uvést, kdo jej podává, co uplatňuje a proti komu návrh směřuje. Přitom je účelné uvést v návrhu i skutečnosti rozhodné pro jeho posouzení a jak je možno je prokázat. Opis návrhu na zahájení smíření řízení zašle pověřený člen smířného orgánu druhému účastníku řízení. Účastník může návrh vzít zpět, dokud smíření orgán neschválí uzavřený smír.

Závěrem bychom měli uvést, jak konkrétně postupovat v tom kterém případě. Obecně lze říci, že zlepšovatelem se může stát každý na svém stupni technického vzdělání a technické úrovni. Nevyžaduje se žádná předchozí kvalifikace, pouze chut do práce. Vynálezec a zlepšovatelství se nevyučuje na žádných školách. Společnost si nejvíce cení a také finančně nejlépe odměňuje návrhy, které přinášejí přímé úspory ve výrobě. Nejvíce nejvíce je takový zlepšovací návrh nebo vynález, který zkrátí jednoduchým způsobem výrobní operaci, který přinese úsporu materiálu, úsporu pracovní síly nebo úsporu vynaložené energie. Ceněné jsou i návrhy zlepšující životní prostředí a zvětšující bezpečnost práce. Je třeba upozornit i na existenci „tematických úkolů“, které ústřední orgány státní správy federace a republik jsou povin-

vý v oboru své působnosti sestavovat a vyhlašovat ve spolupráci s příslušnými orgány ROH. Na sestavování a vyhlašování rezortních plánů tematických úkolů se podílí SSM, ČSTVS a jiné společenské organizace. Tematické úkoly na své úrovni vyhlašují i generální ředitelství a drobné úkoly i jednotlivé podniky. Pro tematické úkoly platí vyhláška 102 ze dne 7. prosince 1972, vydaná Úřadem pro vynálezy a objevy. Socialistické organizace a společenské organizace jako je ROH, SSM a ČSTVS jsou povinny usilovat o co nejvíce okruh zlepšovatelů vynálezů. Organizovat jejich kolektivy a pro jejich práci vytvářet všeestranné podmínky.

Vyřešili řešitel tematický úkol podle soutěžních podmínek a vyřešení bylo hodnoceno jako nejlepší vyhlašující orgán nebo organizace jsou povinny vyplatit mu vypsanou zvláštní odměnu. Práva a povinnosti z vyhlášeného tematického úkolu, jaký jsou např. peněžitá plnění, musí být vypořádány nejpozději do čtyř měsíců po uplynutí lhůty, stanovené k podání řešení. Tato lhůta může být s ohledem na povahu tematického úkolu a v odůvodněných případech prodloužena. Vyhlašující orgán nebo organizace seznámí s výsledkem hodnocení neprodleně všechny řešitele a zároveň zveřejní výsledek stejným nebo jiným stejně účinným způsobem, jakým byl vyhlášen tematický úkol.

Po vyhodnocení se projednají všechny návrhy řešení tematických úkolů jako přihlášky zlepšovacích návrhů s právem přednosti, kdy toto řešení došlo. Není však na překážku skutečnost, že řešitel nepřekročil pracovní úkol, vyplývající pro něho z jeho popisu práce, z daného pracovního příkazu, nebo z podmínek a ukazatelů stanovených při zadání pracovního úkolu. Nárok na odměnu za využití takového zlepšovacího návrhu není vyplacením zvláštní odměny za tematický úkol dotčen. Jsou-li předpoklady, že řešení je současně vynálezem, vyhlašovatel doporučí řešiteli podat přihlášku vynálezu a organizace je povinna poskytnout autoru pomoc s jeho podáním (§ 40 zákona o vynálezech). Máme-li tedy nápad, musíme se soustředit na to, jak jej realizovat. Dokonce (jak plyne z uvedeného) můžeme nápad nejprve realizovat a teprve potom jej (ve lhůtě do 3 měsíců) uplatňovat jako zlepšovací návrh. O to, je-li nápad původní, se příliš nestaráme. U zlepšovacího návrhu není na závadu, jde-li o řešení známé z literatury, u případného vynálezu je původnost otázkou dalšího řízení. Samozřejmě je, že vědomá nepočítost v této věci zpravidla přinese potíže, neboť řízení, týkající se původnosti, jsou velice důkladná.

Pokud nedovedeme sami nápad realizovat, musíme alespoň umět realizaci svého nápadu řídit. Teoreticky je sice možné požadovat od organizace technickou pomoc, ovšem tu můžete dostat v zcela jasném případě. Obvykle je nutné spojit se při realizaci zlepšovacího návrhu s lidmi, kteří jsou ochotni se na zlepšovacím návrhu nebo vynálezu „tvůrčím způsobem“ podílet.

Současně podání zlepšovacího návrhu je formalita. Většinou je vyžadován vyplňený formulář (lze zakoupit v prodejnách SEVT nebo obdržet v rationalizačním oddělení závodu). Obsahuje jméno a adresu autora, název, stručný popis a výkresovou část jako přílohy. Od autora se požaduje i jeho názor na ekonomický přínos, i když samozřejmě není rozhodující. Přihláška se podává vedení podniku, v němž chceme zlepšovací návrh uplatnit. Záštítu nad určeným a správným projednáním přihlášky má ROH. Přihlášku zlepšovacího návrhu projednává většinou čs. závodů tzv. rationalizační komise, v níž bývá zástupce vedení podniku (obvykle některý z náměstků), pracovníci oddělení rationalizace práce nebo tzv. patentový referent, techničtí pracovníci jmenovaní vedením podniku a má zde být přítomen i zástupce

závodní rady ROH. Úkolem komise je posoudit zlepšovací návrh, doporučit ho nebo zamítout.

Komise by měla rozhodnout i o tom, zda lze zlepšovací návrh podat i jako vynález nebo ne. Obvyklým postupem je, že přihlášku, pokud je doporučen zlepšovací návrh rationalizační komisi k přihlášení jako vynález, vynálezce vypíše společně s příslušným odborníkem. Většinou organizací jsou odborná střediska pro vynálezy a zlepšovací návrhy, poskytující autorovi již od počátku bezplatnou pomoc. Přesně o tom informuje zákon č. 84/72 Sb. a vyhláška č. 104 ÚVO ze 14. 12. 1972.

Podle definice je vynálezem vyřešení technického problému a je podmíněno novostí a pokrokem vzhledem k existující technice. Také je třeba, aby výrobek, na němž bylo uplatněno nové technické řešení, bylo možno průmyslově vyrábět nebo např. při nové technologii podle ní při výrobě a v provozu postupovat. Vynálezem není myšlenka, ale konkrétní řešení, které ji realizuje.

Objev je nejvyšší formou tvůrčí činnosti. Objev je výsledkem především základního výzkumu. Rozumí se jím stanovení dosud neznámých, ale objektivně existujících jevů, vlastností a zákonitostí materiálního světa. Objevem však nejsou hypotézy (domněnky) ani geologické, geografické, případně archeologické nálezy, které se také někdy nesprávně uvádějí jako objevy. Pan Ohm, tvůrce známého zákona, přišel na závislost mezi elektrickým napětím a proudem. To byl světový objev. Teprvé na jeho základě mohl být vynalezen reostat, potenciometr aj. Parní stroj a spalovací motor jsou vynálezy a spolu se souborem dalších byly na jejich základě vytvořeny lokomotiva a automobil.

Přihlášky objevů a vynálezů je třeba vyplňovat společně s odborníky již také proto, že správnost vyplnění přihlášky mnohdy významným způsobem dále ovlivňuje osud objevu a vynálezu.

Zapojení s operačními zosilovači

Právě tak jako elektronky, tranzistor, diody nebo tyristory, patří mezi základní stavební elektronické prvky i operační zosilovače. Operační zosilovač je stejnosemenný rozdílový zosilovač se dvěma současnými vstupy. Používal se již v elektronkovém provedení, později i v tranzistorovém. S rozvojem elektroniky se jeho tranzistorovou verzi podařilo integrovat do jednoho pouzdra, takže vznikl nový prvek.

Téměř každý světový výrobce polovodičů vyrábí dnes již několik různých typů operačních zosilovačů (dále jen OZ). TESLA nabízí např. OZ řady MAA501 až 504, MAA725, MAA741, MAA748. V aplikačních schématech kreslime OZ jako trojúhelník se třemi vývody: invertujícím vstupem, který označujeme jako -, neinvertujícím vstupem označeným +, a výstupem. Zvětšující se kladné napětí na invertujícím vstupu vyvolá zvětšující se záporné napětí na výstupu, stejně napětí na neinvertujícím vstupu vyvolá zvětšující se kladné napětí na výstupu. OZ je „souměrný“, takže pro opačné polarity vstupního napětí dostaneme opačné odezvy výstupního napětí (výstupní napětí může nabývat jak kladných, tak záporných velikostí).

U OZ obvykle také nekreslime, jak je ostatně u mnohých integrovaných obvodů obvyklé, přívody napájecího napětí, které je

obvykle souměrné, $+U_N$ a $-U_N$. Některé typy OZ mají pomocné výstupy pro nutné vnější kompenzační členy (např. MAA501 až MAA504, MAA748). Také tyto vývody v obecných aplikacích neuvážujeme, jsou nakresleny jen u konkrétních konstrukcí.

Většina našich úvah předpokládá ideální OZ, který má tyto vlastnosti:

1. Nekonečné zesílení v celém kmitočtovém spektru $A = \infty$.
2. Nekonečnou vstupní impedanci, $R_{vst} = \infty$.
3. Nulový výstupní odpor, $R_{vst} = 0$.
4. Nulové výstupní napětí při zkratu obou vstupů na nulu (střed) napájecího napětí.
5. Nulové zesílení součtového signálu.
6. Statická převodová charakteristika $U_3 = f(U_1)$ je přímka, U_1 je vstupní a U_3 výstupní napětí.
7. Fázový posuv výstupního napětí vůči vstupnímu je 0 nebo π v celém přenášeném kmitočtovém pásmu.
8. Žádny z parametrů nezávisí na změnách teploty a napájecího napětí.

Potěšující je, že u velké většiny, zejména jednoduchých, aplikací v běžných podmínkách lze při návrhu opravdu počítat s dostatečnou přesností s tím, že skutečný zesilovač nemá o mnoho horší vlastnosti než zesilovač idealizovaný. Přesné údaje najdeme samozřejmě pro ten konkrétní typ v katalogu, orientačně lze však říci, že dnes běžně vyráběné OZ mají vstupní odpor 50 k Ω až 2 M Ω , výstupní odpor 50 až 150 Ω a zesílení A_u od 10 3 do 10 6 .

Definice některých základních pojmu

Napájecí nesymetrie vstupu je napětí, které se musí přivést mezi vstupní svorky, aby výstupní napětí bylo nulové.

Proudová nesymetrie vstupu je rozdíl proudu do obou vstupů, je-li výstupní napětí nulové.

Vstupní klidový proud je střední hodnota stejnosměrných proudu tekoucích mezi vstupními svorkami a zemí při nulovém vstupním signálu.

Vstupní napájecí rozsah je rozsah vstupních napětí, v němž má OZ specifikovaný funkční vlastnosti.

Cíniel potlačení součtového signálu H je poměr vstupního napájecího rozsahu k maximální změně napájecí nesymetrie v tomto rozsahu.

Cílivost na změnu napájecího napětí je poměr změny napájecí nesymetrie vstupu k změně napájecího napětí.

Maximální diferenční vstupní napětí je takové maximální napětí, které lze připojit na invertující vstup, je-li neinvertující vstup uzemněn.

Maximální dovolená výkonová ztráta je maximální výkon, který může systém OZ rozptýlit za daných, specifikovaných podmínek (zátěž, napájecí napětí), aniž by se nedovoleně zvýšila teplota IO.

Příkon OZ je stejnosměrný příkon dodávaný do obou větví napájení ze stejnosměrného zdroje, potřebný pro činnost OZ při nulovém výstupním napětí, bez zátěže a při dané teplotě.

Průměrný teplotní součinatel napájecí (proudové) nesymetrie vstupu je poměr změny napájecí (proudové) nesymetrie vstupu k teplotnímu intervalu, v němž změna nastala. Bývá označován také jako **napájecí (proudový) drift**.

Vstupní diferenční odpor je odpor mezi vstupní svorkou a zemí, je-li druhá vstupní svorka uzemněná.

Napájecí zesílení při otevřené smyčce zpětné vazby je napájecí zesílení definované pro

předepsanou zátěž, napájecí napětí a maximálně přípustný, nezkreslený výstupní signál při kompenzované napájecí nesymetrii vstupu.

Přechodová charakteristika je odezva OZ na skokové napětí přivedené na vstup, měří se při uzavřené zpětnovazební smyčce. Na přechodové charakteristice definuje dobu čela výstupního impulsu, což je doba potřebná ke zvětšení výstupního napětí z 10 na 90 % ustálené velikosti. Stejně se definuje i překmit výstupního napětí na ustálenou velikost, vyjádřený v % ustálené velikosti.

Některé zásady při používání OZ

1. Operační zesilovače výrobci pouzdří do různých pouzder, běžných pro IO. Některé typy kulatých pouzder (např. TO-5) mají kovové čepičky. Potom je obvyklé, že tato čepička slouží jako stínění a je spojena s některým vývodem OZ. Např. v typu TESLA MAA501, 502 a 504 je čepička pouzdra vodivě spojena se záporným polem napájení, tj. vývodem 4. Při konstrukčním uspořádání musíme s touto skutečností počítat.

Běžné operační zesilovače nevyžadují žádné přídavné chladiče.

2. Napájení OZ je obvykle souměrné, $+U_N$ je rovno $-U_N$ a zemní svorka a střed souměrnosti tvoří střed napájecího zdroje. Napájecí napětí je samozřejmě po tom konkrétním typu OZ různé, obvykle se však pohybuje v rozmezí ± 5 až ± 30 V. V méně náročných aplikacích je možné používat k napájení OZ i nestabilizované napětí, neboť prakticky všechny vyráběné OZ samy potlačují vliv kolísání napájecího napětí.

Je obvyklé, že u většiny aplikací OZ se k vývodům pro napájení připojují ještě dodatečné filtrační kondenzátory, např. v obr. 1d kondenzátory C_1 a C_2 . Jako filtrační kondenzátory je vhodné volit bezinduktivní kondenzátory keramické s malou kapacitou obzvláště v aplikacích, v nichž by se mohly vyskytnout nf nebo vf vazby mezi jednotlivými zesilovacími stupni přes obvody napájení.

Je-li zařízení napájeno z baterií nebo připojitelného vnějšího zdroje, je možné ochránit OZ před zničením přepolováním napájecího napětí přídavnými diodami D_1 a D_2 , vloženými do napájecích větví (viz obr. 1d). Mnohdy stačí pouze jedna dioda (buď D_1 nebo D_2).

3. Některé výrobci používají u OZ vývody pro pasivní součástky, které je nutno připojit, a které zároveň slouží jako kmitočtová kompenzace. Údaje této součástky je nutno vyhledat v katalogu. Často užívaný OZ TESLA MAA501 až 504 používá pro vnější kompenzaci vývody 1, 5 a 8. Typické zapojení doporučované výrobcem je na obr. 1d, kompenzaci tvoří C_1 , C_2 a R_1 . Je nutno upozornit, že toto zapojení kompenzačních

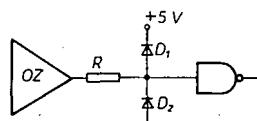
členů je sice typické a nejvíce používané, ale ani u uvedeného konkrétního OZ není jediným možným řešením kompenzace.

4. Vstupy OZ se před zničením zvětšeným vstupním napětím ochrannými omezovacími odpory R_1 a R_2 (jako je to na obr. 1a) obvykle nechrání, protože odpory by mohly mít vliv na funkci OZ. Obvykle se k ochraně vstupů používají Zenerovy diody nebo křemíkové diody v kombinaci s omezovacími odpory. Např. podle obr. 1b je napětí na obou vstupech omezeno velikostí Zenerova napětí obou diod. Pro kladnou periodu přetěžovacího napětí je určena dioda D_1 – začne pracovat, když napětí na vstupu překročí její napětí U_Z . Záporné napětí, které by mohlo přetížit vstupy, omezuje dioda D_2 . Funkčně podobně je antiparalelní zapojení dvou křemíkových diod D_1 a D_2 na obr. 1c. Využívá skutečnosti, že křemíkovou diodou do napětí asi 0,7 V protéká malý proud. Na takto chráněné vstupy OZ lze tedy přivést napětí maximálně $\pm 0,7$ V, napětí větší je téměř diodami omezeno. Při konkrétním návrhu nesmíme zapomenuť, že jak na obr. 1b, tak na obr. 1c protéká ochrannými diodami při překročení max. vstupního napětí „plný“ proud. Proto podle charakteru zdroje signálu pro OZ musíme i zde použít odpory, které tento proud omezí na úroveň, která diody nepoškodí.

Teoreticky lze chránit vstupy OZ i tak, že Zenerovu nebo křemíkovou diodu zapojíme mezi vstupy a nulový potenciál (zem) zdroje. Tato alternativa se však v praxi používá jen velmi zřídka.

5. Před zkratem na výstupu ochraňujeme OZ obvykle zařazením malého sériového ochranného omezovacího odporu, obvykle 47 Ω až 1 k Ω podle charakteru zátěže i podle toho, může-li mít zkrat trvalý, nebo jenom impulsní charakter. Pokud připojujeme zpětnou vazbu z výstupu na vstup, připojujeme zpětnovazební impedanci až za tento omezovací odpor. V aplikacích, v nichž se uplatňuje výstupní odpor OZ, musíme k němu hodnotu R_2 (obr. 1d) přicist.

6. Potřebujeme-li přizpůsobit výstup OZ např. k logice TTL, užijeme zapojení podle obr. 2. Předpokládá se samozřejmě, že jde



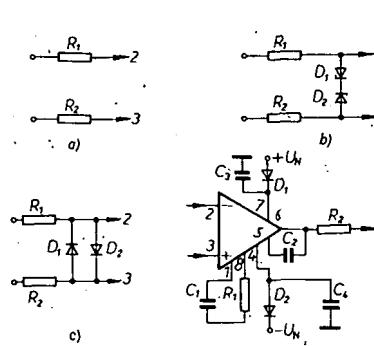
Obr. 2. Přizpůsobení výstupu OZ k logice TTL

o impulsní režim – na vstupu hradla je buď log. 1 (tj. +5 V), je-li na výstupu OZ maximální kladné napětí, nebo log. 0 (tj. asi 0,7 V). Úroveň log. 0 je dána diodou D_2 , která omezí záporné napětí na úroveň $-0,6$ až $-0,8$ V. Odpor R je omezovací, asi 500 Ω , obě diody jsou běžné křemíkové typy.

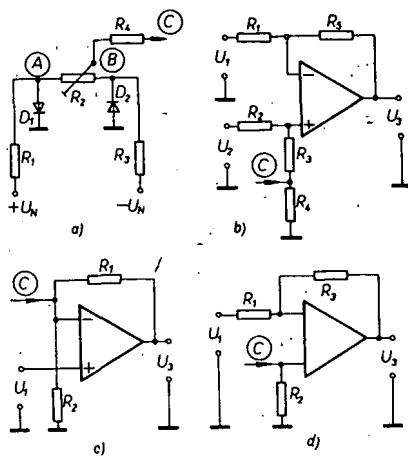
Kompenzace napájecí nesymetrie vstupu OZ

V aplikacích, v nichž se zesilují tak malé signály a úrovně napětí, že se vůči nim uplatňuje napájecí nesymetrie vstupů, zavádí se obvykle dodatečná vnější kompenzace napájecí nesymetrie.

Teoreticky lze kompenzaci napájecí nesymetrie vstupů zavést téměř v každé aplikaci OZ, nicméně si musíme uvědomit, že připojení dalších pasivních prvků na vstupy OZ zhorší jeho vlastnosti, zejména vstupní odpor, v některých případech se impedance prvků kompenzace přičítá i hodnotám prvků zpětné vazby apod.



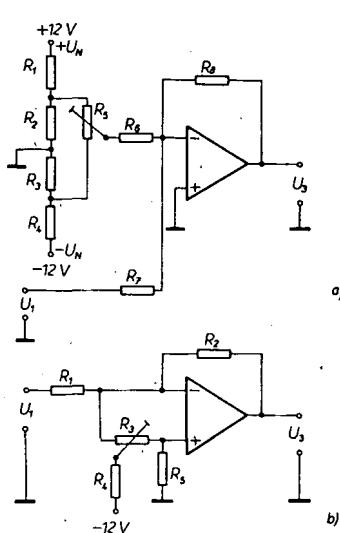
Obr. 1. Připojení pasivních ochranných prvků k OZ



Obr. 3. Kompenzace vstupní napěťové nesymetrie; a) jedno z možných zapojení vnějšího kompenzačního zdroje, b) připojení kompenzačního napětí, c) připojení kompenzačního napětí u neinvertujícího OZ, d) připojení kompenzačního napětí u invertujícího OZ

Jedno z nejobvyklejších zapojení je na obr. 3a. Je to v podstatě zdroj souměrného napětí $\pm 0,7$ V, které je dodatečně stabilizováno diodami D_1 a D_2 . Toto kompenzační napětí se přivádí do bodu C na obr. 3b, c, d – podle toho, jde-li o zapojení invertujícího nebo neinvertujícího OZ. Obvod souměrného stabilizovaného napětí je napájen přes odpory R_1 a R_3 ze zdroje $\pm U_N$, který napájí také OZ. Kfemikové diody, např. KA501 nebo KY701, napětí U_N stabilizují. Trimrem R_2 se obvod nastaví tak, aby na výstupu OZ bylo při nulovém vstupním signálu nulové napětí U_3 . Typické optimální hodnoty součástek, obrázek 3a: $R_1 = 22$ k Ω , $R_2 = 100$ k Ω , $R_3 = 22$ k Ω , $R_4 = 220$ k Ω , D_1 a $D_2 = KA501$ při napájení $U_N = \pm 10$ až ± 15 V. Doporučené optimální hodnoty součástek pro zapojení na obr. 3b: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1$ k Ω , $R_5 = 100$ k Ω , pro obr. 3c: $R_1 = 100$ k Ω , $R_2 = 1$ k Ω a pro obr. 3d: $R_1 = R_2 = 1$ k Ω a $R_3 = 100$ k Ω .

Je-li napájecí napětí $\pm U_N$ dobré stabilizované, lze kompenzační napětí odvodit z tohoto napětí pouhým odpovědným dělením, jak je to znázorněno např. na obr. 4a. Prohlédneme-li si schéma zjistíme, že tento způsob je pouze jednodušší analogií předchozího řešení. Při $U_N = \pm 12$ V a $R_7 = 1$ k Ω

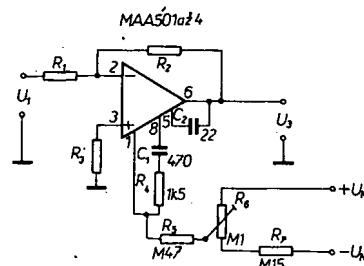


Obr. 4. Jiný způsob kompenzace vstupní napěťové nesymetrie

a $R_8 = 100$ k Ω , jsou orientační hodnoty ostatních součástek: $R_1 = R_4 = 10$ k Ω , $R_2 = R_3 = 510$ k Ω . Nastavovací trimr kompenzace $R_5 = 10$ k Ω a odporník $R_6 = 47$ k Ω . Volba součástek se řídí zásadou, že odporník R_6 má být mnohem větší než R_7 . Dělič napětí složený z kaskády odporníků R_1 až R_5 pak má mít co nejméně odporník, ale ovšem tak velký, aby nebyl přetěžován zdroj napájecího napětí $\pm U_N$.

Na obr. 4b je další z možných variant pomocného zdroje pro kompenzaci napěťové nesymetrie. Zde platí taktáž zásada jako v předchozích případech: dodatečnými součástkami připojenými ke vstupním svorkám co nejméně ovlivní základní parametry OZ. Trimr R_3 má mít mnohem větší odporník než R_1 . Pro $R_1 = 1$ k Ω , $R_2 = 100$ k Ω , $R_5 = 1$ k Ω jsou vhodné tyto kompenzační členy: $R_3 = 40$ k Ω , $R_4 = 840$ k Ω .

U některých typů OZ, které mají vývody pro vnější kmitočtovou kompenzaci, lze využít těchto vývodů i ke kompenzaci napěťové nesymetrie vstupu. Příkladem je např. MAA501 až 504, u nichž lze zavést kompenzační napětí do vývodu 1, což je přímo báze vnitřního tranzistoru, který tvoří zdroj proudu. Z toho na druhé straně však vyplývá, že můžeme přivedením většího vnějšího napětí na tento vstup celý OZ poškodit. Výhodou této kompenzace (obr. 5) je, že se po



Obr. 5. Kompenzace napěťové nesymetrie u MAA501 až 504

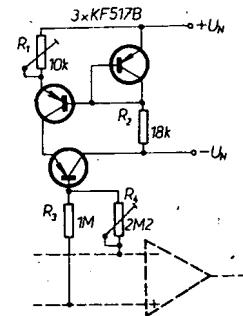
připojení kompenzačních prvků prakticky nemění vlastnosti OZ, ani neovlivňují jmenovité hodnoty pasivních členů, připojených k OZ, které tvoří vnější zpětnou vazbu (R_1 , R_2 a R_3). V zapojení pro běžné napájecí napětí $U_N = \pm 12$ V lze použít tyto součástky: $R_5 = 470$ k Ω , trimrem $R_6 = 100$ k Ω nastavíme nulové výstupní napětí U_3 při nulových vstupních signálech, $R_7 = 150$ k Ω .

Kompenzace vstupní proudové nesymetrie

Nejprve si uvedeme, kdy kompenzujeme napěťovou nesymetrii a kdy proudovou nesymetrii. Kompenzaci kladových proudů používáme v případech, kdy převažuje účinek kladových proudů tak, že vzniká jejich úbytkem parazitní napětí na velkých odporech, zapojených na svorkách OZ. Používáme-li takové aplikační zapojení, u něhož jsou vstupní odpory stupně relativně malé, převažuje proudová nesymetrie – pak používáme kompenzaci napěťové nesymetrie popsanou v předchozím odstavci.

Nejprimitivnějším způsobem kompenzace proudové nesymetrie je úprava odporek mezi vstupními svorkami tak, aby se proudová nesymetrie kompenzovala „jaksi automaticky“. Toto primitivní opatření nelze většinou použít, proto se používají vnější přidavné členy. Jedno z možných zapojení je na obr. 6.

Uvádí se, že jím lze zmenšit (potlačit) proudovou nesymetrii 20 až 40krát. Nevýhodou je nutnost individuálního nastavení každého OZ a také relativní složitost. Kompenzaci na obr. 6 nastavujeme takto: odpojíme od OZ všechny členy zpětné vazby, svorku



Obr. 6. Kompenzace proudové nesymetrie

vstupu + uzemníme a mezi vstup – a výstup připojíme paralelní člen RC , $C = 220$ pF a $R = 4,7$ M Ω . Pak nastavíme trimrem R_1 nulové výstupní napětí. Dělič odpojíme a tentýž paralelní člen RC zapojíme mezi vstup + a zem (0 V zdroje). Na vstup + připojíme odporník 2,2 k Ω , který druhým koncem připojíme na výstup OZ. Nyní nastavíme opět nulové napětí na výstupu OZ trimrem R_4 . Tím je kompenzace nastavena a zbývá odpojit pomocné prvky člena RC z vstupu – včetně odporníku 2,2 k Ω a kapouku laku aretovat oba zastavovací trimry R_1 a R_4 . Pak připojíme prvky zpětné vazby a obvod s OZ je nastaven.

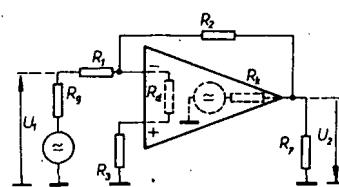
Invertující OZ

Jde o jedno ze základních zapojení OZ. Invertující se nazývá proto, že výstupní napětí U_3 má proti vstupnímu napětí opačné znaménko a fázový posuv 180° . Invertující zesilovač je v tomto zapojení souměrný jak k hledávání vstupu, tak výstupu. Může pracovat s kladným i záporným vstupním napětím, které má pochopitelně na výstupu odezvu jako záporné a kladné napětí, jeho velikost je úměrná vstupnímu napětí a zesílení A_{in} , které je dáno velikostí zpětné vazby. Mezi vstupním a výstupním napětí jsou dány katalogovými údaji příslušného OZ. Tento zesilovač pracuje stejným způsobem se stejnou směrným i střídavým signálem až do mezního kmitočtu použitého OZ.

Základní zapojení invertujícího OZ je na obr. 7. Vlastnosti tohoto zapojení v případě ideálního OZ určují pouze oba odpory R_1 a R_2 , které představují velikost záporné zpětné vazby. Invertující zesilovač se chová jako téměř ideální zdroj napětí. Teto vlastnosti se mimo jiné využívají i v zapojeních elektronických referenčních zdrojů.

Předpokládáme-li ideální OZ, který má nekonečné zesílení, nekonečný vstupní odporník a nulový výstupní odporník, platí ve velkém rozsahu, že zesílení OZ jako invertujícího zesilovače je:

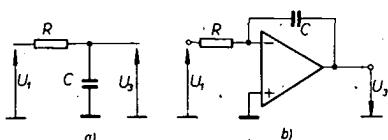
$$A = \frac{U_3}{U_1} = - \frac{R_2}{R_1}$$



Obr. 7. Invertující operační zesilovač

jako v matematických výrazech, které lze integrovat i několikrát za sebou, můžeme i v elektronice zařazovat, pokud to má smysl, integrační členy do série a dostaneme v pořadí první, druhý až my integrál původního elektrického průběhu. Např. první integrál impulsů pravoúhlého průběhu je stejnosměrné napětí, jehož velikost je úměrná délce trvání jednotlivých impulsů, jejich napětí a kmitočtu. Matematicky je to vlastně plocha, kterou „pokryjí“ časově rozvinuté impulsy nad časovou (vodorovnou) osou. Pro představu elektrické funkce si můžeme uvědomit, že integrátor je základem každého analogového měřiče kmitočtu. Měřený kmitočet přivedeme na impulsy o konstantním napětí a konstantní šířce. Potom je výstupní stejnosměrné napětí integrátoru úměrné změně kmitočtu. Této úvaze přesně odpovídá také geometrická představa. Při konstantní výšce a šířce impulsů je plocha nakreslených impulsů přímo úměrná pouze jejich kmitočtu.

Nejjednodušším integračním členem je kombinace RC , zapojená podle obr. 12a. „Integrátor“ s operačním zesilovačem na



Obr. 12. Integrační zesilovač: a) integrační obvod realizovaný členy R a C , b) integrační obvod realizovaný OZ

obr. 12b je samozřejmě dokonalejší. Pro danou úlohu můžeme použít menší kapacitu kondenzátoru, lineárnita integrace je zaručena ve velmi širokém rozsahu. Integrátor má malý výstupní odpor a jeho činnost není ovlivňována charakterem zátěže. Vstupní odpor R je však odporem generátoru vstupního signálu ovlivňován a vnitřní odpor generátoru musíme k odporu R při výpočtu přičíst.

Pro výstupní napětí platí vztah:

$$U_3 = -\frac{1}{\tau} \int u_1 dt,$$

kde τ je časová konstanta RC .

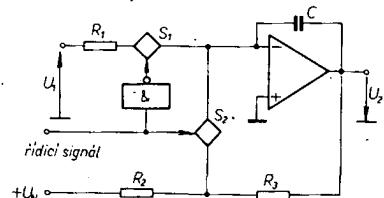
Pro dolní použitelný kmitočet platí:

$$f_d = \frac{1}{2\pi\tau}$$

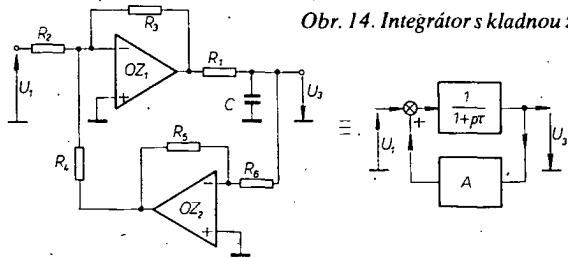
Na obr. 13 je příklad řízeného integrátoru, u něhož logickým signálem řídíme dobu integrace (spinač S_1) a nastavení počátečních podmínek. Pokud je možnost nezávisle ovládat spinače S_1 a S_2 , jsou možné tři režimy činnosti: integrace, nastavení počátečních podmínek a paměť (S_1 i S_2 rozpojeno).

Integrátor s kladnou zpětnou vazbou je na obr. 14. Používá dva OZ, první pracuje jako sumátor, druhý – OZ₂ – jako invertor. Obecně se tímto uspořádáním upraví původní časová konstanta integračního článku

$$\tau_0 = \frac{1}{1 - A}, \text{ kde } A \text{ je zesílení OZ.}$$



Obr. 13. Integrátor s řízenou dobou integrace



Obr. 14. Integrátor s kladnou zpětnou vazbou

Přenos je dán vztahem:

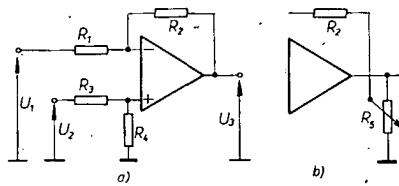
$$\frac{U_3}{U_1} = -\frac{R_3}{R_2} \frac{1}{1 + pt - \frac{R_5 R_3}{R_6 R_4}},$$

kde p je Laplaceův operátor, τ časová konstanta ($= R_1 C$). Předpokládali jsme, že R_6 je mnohem větší než R_1 a zároveň má platit, že

$$\frac{R_5 R_3}{R_6 R_4} = 1.$$

Diferenční zesilovač

Na obr. 15a je souměrné zapojení diferenčního nebo také rozdílového zesilovače, které pracuje jak se stejnosměrnými, tak střídavými vstupními signály. Výstupní napě-



Obr. 15. Diferenční zesilovač: a) základní zapojení, b) způsob regulace zesílení diferenčního zesilovače

tí U_3 je superpozicí příspěvků dílčích vstupních napětí U_1 a U_2 ; přenos zapojení je určen vztahem:

$$U_3 = (U_2 - U_1)A,$$

kde A je zesílení uvedeného stupně rovné

$$A = \frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1},$$

přičemž vztah mezi čtyřmi odpory R_1 až R_4 určuje jejich nutný vzájemný poměr, aby zůstala zachována souměrnost zapojení.

V praxi se obvykle tato podmínka dodržuje. Pokud je poměr odporů různý, je také různé zesílení A každého ze vstupů. Je-li zapojení skutečně souměrné, musí být výstupní napětí nulové, přivedeme-li na oba vstupy signál o stejném napětí a fázi. Případnou nesymetrii může způsobovat jak sám OZ, tak nepřes-

nost volby odporů R_1 až R_4 . Protože nelze dost dobré měnit zesílení změnou některého z uvedených odporů, anž by se neporušila souměrnost zapojení, je obvyklé, že regulační potenciometr zesílení R_5 se zapojuje způsobem znázorněným na obr. 15b. Výhodou je, že změnou R_5 v praxi neměníme žádnou z vlastností celého diferenčního stupně. Při zesilování malých signálů je další výhodou skutečnost, že jeden z konců potenciometru R_5 je uzemněn.

V tomtom zapojení se uplatňuje ve vzorci pro zesílení A i vnitřní odpory zdrojů napětí U_1 a U_2 , jejichž hodnoty je nutno přičíst k hodnotám odporů R_1 a R_3 .

Jiné zapojení diferenčního stupně s jedním OZ a možností změny zisku jedním prvkem je na obr. 16a. Jeho přenos a funkci lze určit z náhradního schématu na obr. 16b. Zjednodušený výpočet podle tohoto schématu vyhází z úvahy, že rozdíly napětí v bodech A, B jsou malé a proudy do vstupů zesilovače jsou zanedbatelné.

Pak $U_1 - R_1 I_1 = U_2 - R_1 I_2$

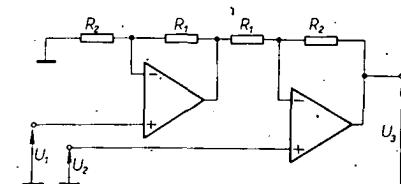
a z toho přenos:

$$U_3 = 2 \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{1}{k}\right) (U_2 - U_1),$$

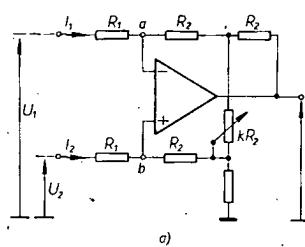
kde k je činitel určující, kolikrát je odpor potenciometru větší než R_2 .

Při náročnější aplikaci tato zapojení nevhoduje. Využívá se obvykle zapojení s větším počtem aktivních prvků, obvykle s několika OZ. Pak se dosáhne velkého vstupního odporu řádu desítek megaohmů, který je obvykle daleko větší než vnitřní odpor zdrojů napětí U_1 a U_2 . I zde je zcela obvyklé, že se všelikou souměrnou zapojení, např. podle obr. 17. Pro jeho přenos platí vztah:

$$U_3 = (U_2 - U_1) \frac{R_1 + R_2}{R_1}.$$



Obr. 17. Diferenční zesilovač s velkým vstupním odporem



Obr. 16. Jiná varianta diferenčního zesilovače (a) a jeho náhradní obvod (b)

Měnit zisk plynule jedním nastavovacím prvkem v tomto zapojení nelze.

Mezi nejdokonalejší diferenční zesilovače patří varianty, které se v literatuře také někdy označují jako přístrojové zesilovače. Zapojení existuje několik desítek různých druhů. Základní dva představitele přístrojových zesilovačů si uvedeme dále. Nejprve rozbor zapojení podle obr. 18.

V bodě A je napětí:

$$U_A = U_1 \frac{R_1 + R_2}{R_1} - U_2 \frac{R_2}{R_1}$$

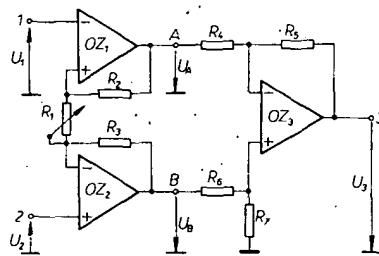
V bodě B je napětí:

$$U_B = U_2 \frac{R_1 + R_3}{R_1} - U_1 \frac{R_3}{R_1}$$

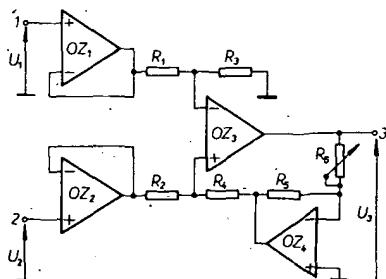
Je-li $R_2 = R_3$ a jsou-li odpory R_4 až R_7 stejné, platí pro výsledný přenos

$$U_3 = U_B - U_A = (U_2 - U_1) (1 + \frac{2R_2}{R_1})$$

Výhodou zapojení je velký vstupní odpor rádu desítek megaohmů a možnost řídit zisk jediným odporem R_1 . Součtovou chybu vzniklou nesouměrnostmi použitých součátek v zapojení lze potlačit experimentální změnou odporu R_7 .



Obr. 18. Diferenční zesilovač známý pod názvem „přístrojový zesilovač“

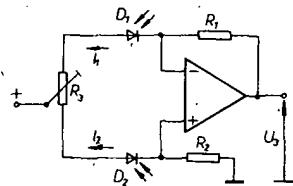


Obr. 19. Varianta diferenčního přístrojového zesilovače

Varianta přístrojového zesilovače na obr. 19 má podobné vlastnosti. Velký vstupní odpor zapojení zaručují OZ₁ a OZ₂, které jsou zapojeny jako zesilovače. Pomocí OZ₄ změnou jediného nastavovacího prvku R₅ lze měnit zisk celého zapojení, přičemž souměrnost a součtová chyba zůstávají konstantní. Je-li R₁ = R₂ = R₃ a R₄ = R₅ = R₆, platí pro přenos

$$U_3 = \frac{R_6}{R_5} (U_1 - U_2)$$

Zapojení na obr. 20 umožňuje využití rozdílu mezi dvěma světelnými toky Φ_1 a Φ_2 .



Obr. 20. Fotoelektrický diferenční zesilovač

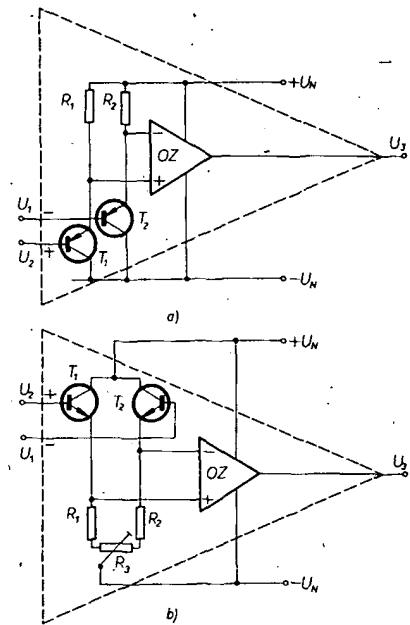
a Φ_2 (dopadající na dvě fotodiody D₁ a D₂) jako změnu výstupního napětí U₃. Elektrický přenos tohoto zapojení vyjádříme nejlépe pomocí proudů I₁ a I₂, které jsou úměrné světelným tokům. Pak pro přenos platí

$$U_3 = R(I_2 - I_1)$$

Výhody uvedeného zapojení jsou nasledující. Máme-li pro měření úrovně světlo-tma k dispozici jenom jeden fotoelektrický prvek, musí za zesilovačem proud úměrného světla následovat ještě napěťový komparátor – v zapojení na obr. 20 tento rozhodovací člen odpadá. Tmou nebo světlo zapojení „pozná“ podle světelného toku dopadajícího na obě čidla, a zapojení pak produkuje kladné nebo záporné napětí U₃ na výstupu OZ.

Obvody pro zvětšení vstupní impedance OZ, elektrometrické zesilovače

Obecně lze vstupní impedance OZ zvětšit připojením dvou souměrně zapojených tranzistorových emitorových sledovačů na vstupní svorky. Na celek se pak díváme jako na OZ, u něhož jsou vstupy (báze) tranzistorů T₁ a T₂ vstupy upraveného („nového“) OZ. Celkem lze použít v libovolných aplikacích, zpětné vazby a pasivní prvky připojujeme na nově vzniklé vstupy, na báze tranzistorů. Praktický význam tohoto zapojení je však spíše tam, kde potřebujeme pracovat s většími signály (řádu jednotek voltů), které by původní vstup OZ již mohly poškodit. Na obr. 21 jsou dve ekvivalentní zapojení. Zapojení na obr. 21a používá tranzistory p-n-p; v originálu byl použit OZ typu $\mu\text{A}710$, R₁ = R₂ = 62 k Ω . Oba použité tranzistory by měly být shodné se stejným zesilovacím činitelem (T₁ = T₂ = BFX36). V druhé al-



Obr. 21. Obvody pro zvětšení vstupní impedance a odolnosti vstupu OZ

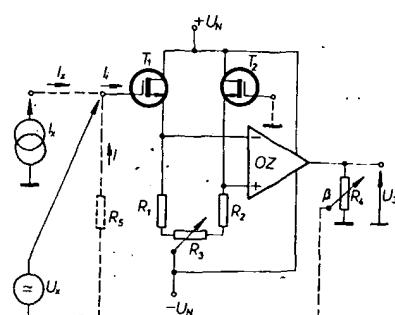
ternativě (obr. 21b) byly použity tranzistory n-p-n typu T₁ = T₂ = BFY81, R₁ = R₂ = 62 k Ω a navíc je připojen odpor R₃ = 1 k Ω , který slouží k vyrovnání souměrnosti obou tranzistorů emitorového sledovače.

Skutečného a velmi podstatného zvětšení vstupní impedance dosáhne při zapojení, kdy tranzistory z předchozího případu nahradíme typy MOSFET. Dostaneme tak zesilovač, který má již právo nazývat se zesilovačem elektrometrickým. Lze ho používat pro měření nebo zesilování napětí prakticky bez zatížení zdroje signálu, nebo pro měření či zesilování extrémně malých proudů v rozmezí 10⁻⁹ až 10⁻¹⁶ A. Z hlediska stability, velikosti i dalších parametrů je takový zesilovač lepší než dříve používané elektronkové elektrometrické zesilovače. Pamětníci vědějí, že elektrometrická elektronka byla obvykle speciálně konstruovaná trioda, s řídicí mřížkou vyvedenou na čepičku místo na patici, aby se vyloučily svodové odpory a zamezilo vlivu relativně velkého napájecího anodového napětí, které elektronka potřebovala pro svoji funkci.

Samozřejmě, že i dnešního elektrometrického OZ musíme při konstrukci se svodovými odpory počítat, nutno však říci, že vzhledem k používání skelných lamináttů na deskách s plošnými spoji a malých napájecích napětí jsou problémy nyní menší. Při konstrukci musíme navrhnut takové umístění součástek, aby svodové odpory byly co nejmenší. Lze upozornit i na to, že se při zesilování extrémně malých proudů nebo při měření elektrických potenciálů na plochách izolantů vnášejí do měření chyby, které vznikají na základě jevu, které v běžné elektronice vůbec neuvážujeme. Je to například termoelektrické napětí vznikající na vývodech pouzdra OZ, polarizace kyličníkové vrstvy v elektrickém poli u tranzistoru MOSFET, která způsobuje, že se kolektorský proud ustáluje až po několika desítkách minut po zapnutí atd.

Elektrometrický OZ je velmi potřebná elektronická součástka a proto se vyrábí i jako integrovaný hybridní obvod – oba MOSFET a operační zesilovač jsou uloženy v jednom pouzdře. U nás se vyrábějí např. typy (TESLA Lanskroun):
WSH217, vstupní proud asi 5 pA,
WSH220, vstupní proud asi 5 pA, dynamické parametry jako MAA741,
WSH218, vstupní proud asi 1 pA,
WSH219, vstupní proud asi 0,2 pA, dynamické parametry jako MAA725,
WSH223 pro extrémně malé proudy řádu 10⁻¹⁴ A.

Amatérsky lze elektronický zesilovač postavit z OZ a dvou tranzistorů MOS v zapojení, které je na obr. 22. Tento elektrometrický stupeň můžeme použít jako zesilovač proudu nebo napětí. Změnou odporu R₃ v obou případech nastavujeme nulové výstupní napětí při nulovém vstupním napětí. Zesilované napětí U₁ přivádíme paralelně k odporu R₅, jehož hodnota má být větší, než je hodnota



Obr. 22. OZ s tranzistory MOS – jako elektrometrický zesilovač

vnitřního odporu zdroje zesilovaného nebo měřeného napětí U_x . Vstupní odpor elektrometrického stupně musí být podstatně větší než R_s , aby případné změny tohoto vnitřního odporu za provozu neměly vliv na přenos celého stupně.

Pro přenos platí vztah:

$$U_3 = \frac{A}{1 + \beta A} U_x \doteq \frac{1}{\beta} U_x,$$

kde β je určeno nastavením potenciometru R_4 ve zpětné vazbě a A zesílení OZ. Výstupní napětí U_3 tedy nezávisí tehdy, je-li součin zesílení A a činitele β mnohem větší než 1, na zesílení A operačního zesilovače.

Podstatnou nevýhodou tohoto uspořádání elektrometrického zesilovače napětí je, že zesilované napětí nemůže mít uzemněn žádoucí obojí půlů.

Elektrometrický zesilovač může zesilovat (případně měřit) i malé proudy I_s . Zdroj proudu I_s může být uzemněn. Zapojení se chová jako převodník proud-napětí, jehož hlavní předností je měření a zesilování proudu bez rušivého úbytku v obvodu měřeného proudu.

Je-li vstupní odpor elektrometrického stupně podstatně větší než odpor R_s , vyvolá zesilovaný proud I_s na odporu R_s spád napětí. Vztahy odvozené pro měření napětí platí i pro měření proudu, dosadíme-li za U_x vztah $I_s R_s$. Pak pro přenos proudu I_s platí:

$$U_3 = -\frac{1}{\beta} I_s R_s.$$

Měření a zesilování proudu je méně přesné než zesilování a měření napětí, neboť závisí na stálosti R_s – ten při odporu 10^9 až $10^{15} \Omega$ má již velký drift. Při velkých hodnotách odporu R_s se také nevhodně zvětšuje časová konstanta, která vzniká součinem R_s a parazitní kapacitou přívodů celého stupně. Tato časová konstanta prodlužuje dobu ustálení výstupního napětí U_3 .

Nábojový zesilovač

Základem zesilovače náboje (nebo jak můžeme také říci převodníku náboj – napětí) je elektrometrická úprava OZ. Pro zapojení na obr. 23 platí vztah:

$$i_s + C_2 \frac{du_3}{dt} = 0$$

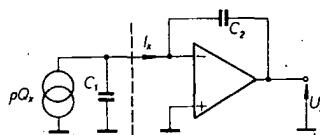
z toho pak pro přenos platí:

$$U_3 = -\frac{1}{C_2} \int i_s dt = -\frac{Q_s}{C_2}.$$

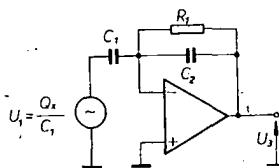
Zapojení na obr. 23 je vhodné pro měření (a zesilování) na zdrojích elektrického náboje (což jsou zdroje s vysloveně kapacitním charakterem). Příkladem takového zdroje elektrického náboje je piezoelektrický výbrus, piezoelektrický snímač, detektory jáderného záření apod. Ekvivalentní obvod na obr. 24 dostaneme přeměnou harmonicky proměnného proudu pQ_s s paralelně připojenou vnitřní kapacitou C_1 na zdroj elektrometrického napětí $U_1 = Q_s/C_1$ s vnitřním impedančním $1/j\omega C_1$. Odpor R_1 je nutný pro uzavření cesty klidového vstupního proudu OZ. Přenos tohoto typu nábojového zesilovače je dán vztahem:

$$U_3 = -\frac{Q_s}{C_2} \frac{pR_1C_2}{1 + pR_1C_2},$$

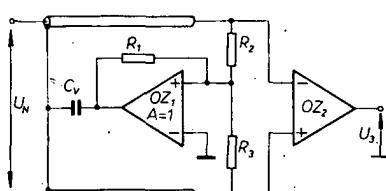
(kde p je Laplaceův operátor), z čehož je patrné, že nezávisí na kapacitě C_1 , tj. na vnitřní kapacitě zdroje náboje a také na všech k ní připojených parazitních kapacitách, např. kapacitě přívodního kabelu apod. To patří k jeho základní přednosti. Časová



Obr. 23. Převodník náboj – napětí



Obr. 24. Nábojový zesilovač



Obr. 25. Potlačení vlivu kapacity přívodních souosých kabelů

nich souosých kabelů ke vstupům OZ, jsou na potenciálu střídavé součtové složky, která je odvozena z dělce R_2, R_3 . Tím se podstatně omezí vliv kapacity přívodních kabelů. Zesilovač OZ, musí být schopen zpracovávat součtová napětí a dodávat plný proud přes vazební kondenzátor na povrch pláště souosých kabelů, které se jeví z elektrického hlediska jako kapacitní zátěž. OZ, má mít zesílení 1 nebo o málo větší než 1, což znamená, že všechny odpory R_1 až R_3 mají být stejně.

Zvětšení rozsahu výstupního napětí OZ

Zajímavý „trik“, sloužící ke zvětšení výstupního napětí OZ, je na obr. 26. Mění-li se výstupní napětí od $-U_3$ do $+U_3$, lze dosáhnout toho, že nastavením potenciometru R se může měnit od 0 do $+2U_3$, popř. při otočení potenciometru do druhé krajní polohy od $-2U_3$ do 0. To proto, že v zásadě platí zcela logická podmínka, že napájecí napětí U_N je vždy větší než U_3 , které je v podstatě z něho odvozené.

Podmínkou správné funkce je, že odpor trimru R musí být zanedbatelný vůči zatěžovacímu odporu dalšího stupně. Jistou nepříjemností je skutečnost, že žádny vývod OZ nemůžeme uzemnit.

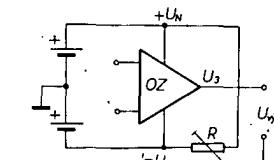
Úrovňové komparátory napětí

Komparátor je elektrický obvod, kterým vyhodnocujeme neznámou úroveň napětí. V nejzákladnějším zapojení podle obr. 27a se vyskytují dvě vstupní napětí: neznámé napětí U_x , které komparátorem měříme, hledáme nebo které porovnáváme, a napětí referenční U_{ref} , které jsme zvolili jako prahové napětí pro porovnávání. Výsledkem porovnání je výstupní napětí U_3 , které má v tomto zapojení pouze dvě stabilní úrovně, U_{31} a U_{32} , což jsou napětí, při nichž je výstup OZ v saturaci. Velikost U_3 se prakticky blíží napětí napájecímu, tj. $\pm U_N$.

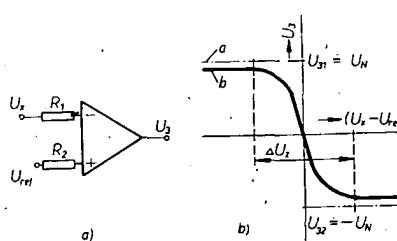
Cínnost obvodu je jednoduchá. Předpokládejme, že např. na vstup + je zavedeno $U_{ref} = +1$ V. Neznámé napětí U_x má úroveň méně než $+1$ V. Potom je na výstupu napětí U_{31} . Jakmile se však neznámé napětí zvětší nad úroveň U_{ref} , tj. bude větší než $+1$ V, změní se na výstupu napětí na U_{32} . Přechodový stav nastává v okamžiku, kdy úroveň $U_{ref} = U_x$.

Základní vlastnosti úrovňového komparátoru napětí je jeho rozlišovací schopnost, což je v našem schématu obr. 27b $U_z = U_x - U_{ref}$, slovy, je to nejmenší rozdíl mezi napětím neznámým (srovávaným) a referenčním nutný k tomu, aby se výstupní napětí změnilo z úrovni U_{31} na U_{32} a naopak. Ideální komparátor by měl charakteristiku podobnou skokovému napětí z U_{31} na U_{32} (křivka a v obr. 27b – čerchovaná): Rozlišovací schopnost komparátoru je dáná především zesílením použitého OZ, ale také jeho driftem a šumem. K potlačení driftu prourové nesymetrie vstupů volíme odpory R_1 a R_2 shodné.

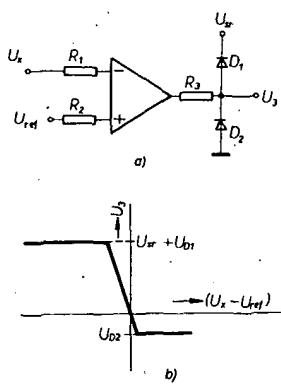
Komparátory se vyznačují i chybou srovávání, tj. chybou vznikající změnou rozlišovací schopnosti s časem, teplotou a případně změnami napájecího napětí $\pm U_N$. Tato chyba u komparátoru přímo v základním zapojení, dosahuje s běžnými OZ až několika mV. Pro aplikace, v nichž je tato chyba příliš velká, se používají OZ s automatickým nulováním a základní zapojení se mění na tzv. proudový komparátor.



Obr. 26. Zvětšení rozsahu výstupního napětí operačního zesilovače



Obr. 27. Základní zapojení napěťového komparátoru (a) a jeho převodní charakteristika (b)



Obr. 28. Napojení komparátoru na TTL logiku

Je obvyklé, že komparátor pracuje i se střídavým nebo impulsním napětím U_x . Mezi něj může být napětí, které lze komparovat, je prakticky určen mezním kmitočtem použitého OZ. Referenční srovnávací napětí je i v těchto případech obvykle stejnospěrné. Jeho zvlnění, odchylky od jmenovité velikosti a případná kolísání mají prakticky přímý vliv na rozlišovací schopnost komparátoru a jakost komparace je jakostí referenčního napětí přímo ovlivňována.

Aby bylo možno použít komparátor s číslicovými IO, užívá se podle obr. 28a na výstupu OZ dvou omezovacích diod D_1 a D_2 . Jedna se uzemní, střed se spojí přes odpor R_3 a výstupem OZ a D_1 se připojí na kladné napětí, na které chceme výstupní napětí komparátoru omezit. Komparátor má pak dvě úrovně, 0 V a úroveň danou úrovní napětí U_{SR} . Chybu způsobuje úbytek napětí v propustném směru na diodách D_1 a D_2 ($-U_{D1}$ a U_{D2}) o velikosti 0,5 až 0,7 V. Úroveň log. 0 je pak $-0,5$ až $-0,7$ V. Úroveň log. 1 je dána součtem $U_{SR} + U_{D1}$. Odpor R_3 omezuje výstupní proud OZ do obou diod, u běžných typů OZ je zvykem volit ho do 300 do 700 Ω .

V mnohých aplikacích je nevhodné, má-li komparátor jakýsi „hazardní“ stav, k němuž dochází např. v automatizačním zapojení, kde jsou po delší dobu obě veličiny U_x a U_{ref} téměř stejné, nebo kolísá-li U_x neustále v malých mezech kolem U_{ref} . V takových případech je žádoucí, aby převodní charakteristika byla jiná když se neznámé napětí U_x zvětšuje, a jiná když se zmenšuje. Tento jev se podobá hysterezní křivce magnetických materiálů. Dobrou elektrickou představu můžeme získat také tak, když si představíme místo OZ jednoduché relé. Přivedeme-li na jeho cívku neznámé napětí z regulovaného zdroje, relé přitáhne např. při 20 V. Když potom napětí na cívce zmenšíme, relé neodpadne při napětí 20 V, při němž přitáhlo, ale při napětí o několik voltů menším. Rozdíl mezi napětím spinacím a napětím „rozpínacím“ budeme nazývat napětí hysterezní U_h . V našem elektrickém komparátoru s hysterezí

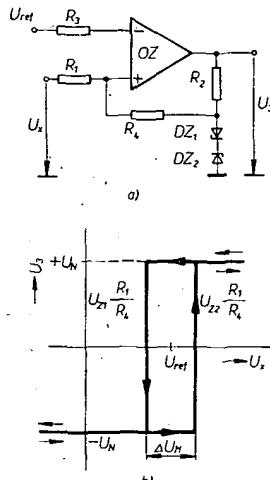
zí podle obr. 29b je napětí $U_h = (U_{31} - U_{ref}) - (U_{32} - U_{ref})$, přičemž U_{31} je napětí v bodu, v němž neznámé napětí U_x působí při svém zvětšení změnu U_3 na maximální kladnou velikost. Napětí U_{32} je napětí U_x v okamžiku, když se U_x zmenšovalo a způsobilo opačnou změnu U_3 , tj. z maximálního záporného napětí na maximální kladný napětí. Převodní charakteristika podle obr. 29b předpokládá ideální komparátor, tedy vrátíme-li se ještě zpět k původnímu zapojení podle obr. 27a, tak jde vlastně o skokovou změnu podle křivky b bez parazitního napětí ΔU_x .

Hysterezní napětí se vytvoří vlastně kladnou zpětnou vazbou z výstupu OZ přes odpor R_3 na + vstup OZ, jeho velikost lze stanovit ze vztahu

$$U_h = U_3 \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

Je-li U_3 omezeno pomocí „cizího“ napětí a omezovacích diod, dosazujeme za U_3 maximální kladnou velikost, které toto napětí dosahne.

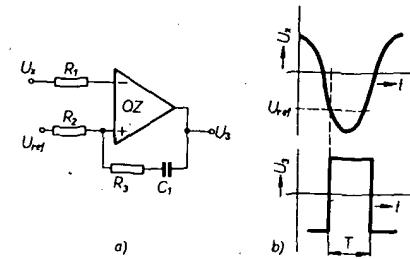
Způsob zavedení hysterezního napětí U_h je několik. Pokud záleží na tom, aby hysterezní napětí bylo přesně definováno, volíme např. zapojení podle obr. 30, což je komparátor běžného typu, u něhož vznik napětí



Obr. 30. Komparátor s hysterezí určenou Zenerovými diodami (a) a jeho převodní charakteristika (b)

v kladné zpětné vazbě určují dvě antiparalelně zapojené Zenerovy diody. Celou činnost tohoto komparátoru lze pohodlně vysledovat z jeho převodové charakteristiky. Napětí U_3 se poprvé překlopí, když U_x dosáhne velikosti $U_{Z1} = U_{ref} + \frac{R_1}{R_4} U_{ref}$, vratný děj nastane, až když se U_x zmenší na $U_{Z2} = U_{ref} - \frac{R_1}{R_4} U_{ref}$.

Veli-



Obr. 31. Kombinace úrovňového komparátoru a monostabilního klopného obvodu (a) a jeho časový diagram (b)

kost hysterezního napětí je prakticky dána rozdílem obou napětí, tj.

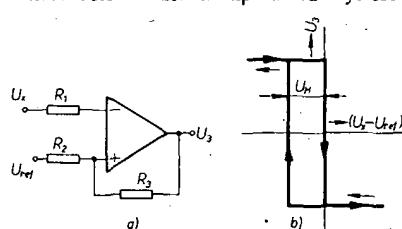
$$U_h = \frac{R_1}{R_4} (U_{Z1} + U_{Z2})$$

Vstupní odpor na svorce pro přívod neznámého napětí U_x je přibližně roven součtu odporů $R_1 + R_4$.

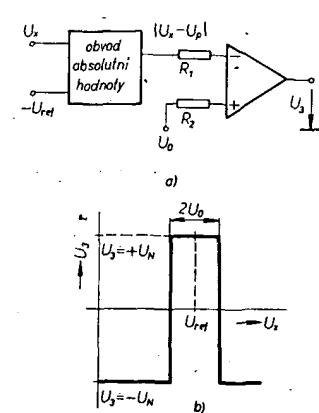
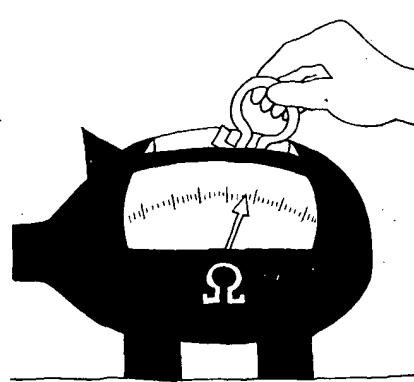
OZ umožňuje i mnohé další obvodové varianty. Jediným obvodem lze např. získat kombinaci napěťového komparátoru a monostabilního obvodu. Základní schéma takového obvodu je na obr. 31. Jde vlastně o běžné zapojení úrovňového komparátoru, u něhož kladnou vazbu, která způsobovala hysterezi, nahrazuje sériový člen RC . Jakmile se obvod překlopí tím, že se neznámé napětí zmenšílo pod úroveň napětí referenčního, začne pracovat kladná zpětná vazba z výstupu OZ na + vstup operačního zesilovače. Výstup operačního zesilovače je pak v kladné saturaci úrovni i tehdy, když zanikly podmínky nutné pro překlopení. Na výstupu OZ vznikne impuls s dobovým trváním T (obr. 31b), který je přímo úměrná velikostí časové konstanty článku R_3C_1 , zapojeného ve zpětné vazbě OZ. Impuls má napěťovou velikost rovnou saturaci výstupnímu napětí $2U_h$, což je přibližně $2U_N$. Výstupní napětí U_3 jde samozřejmě omezit některým z běžných již dříve popsaných způsobů. Náběžná hrana impulsu je závislá zejména na zesílení použitého OZ a na jeho mezním kmitočtu. Početně šířku impulsu stanovíme ze vztahu:

$$T = (R_2 + R_3)C_1 \frac{U_3}{U_{ref}} \frac{R_2}{R_3 + R_2}$$

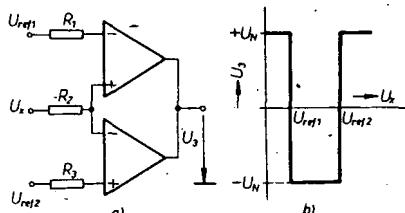
V obvodech, v nichž je potřeba sledovat, zda se neznámé napětí U_x pohybuje mezi dvěma meznimi, je již i v nejjednodušším případě potřeba použít alespoň dva OZ. Dva způsoby zapojení takového „tolerančního okénkového komparátoru“ jsou na obr. 32



Obr. 29. Komparátor s hysterezí (a) a jeho převodní charakteristika (b)

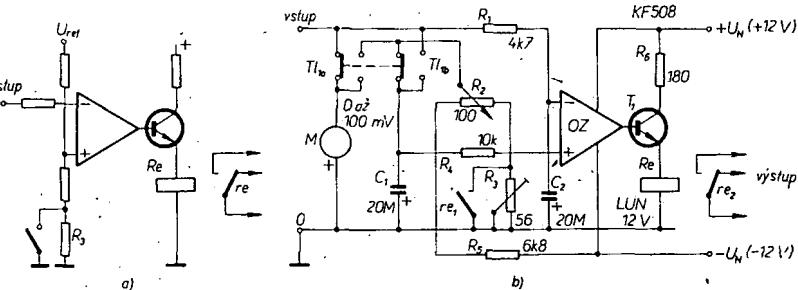


Obr. 32. Toleranční „okénkový“ komparátor (a) a jeho převodní charakteristika (b)



a obr. 33. Princip činnosti je patrný ze schématu a výsledek lze vysledovat z uvedené převodní charakteristiky. I zde lze výstup doplnit o omezující členy, abychom dostali napětí U_3 o potřebné úrovni, i zde lze zavést hysterese, prakticky stejnou jako ve všech popsaných komparátořech.

Komparátory lze zapojovat tak, že každý je nastaven na jednu vyhodnocovací úroveň. Vznikne pásmový vyhodnocovač napětí, který vlastně dokáže rozhodnout, v kterém „stupni“ se neznámé napětí U nachází. Takový úrovňový stupňový vyhodnocovač napětí je základem analogové číslicových převodníků. Neinvertující vstup OZ, které představují vstup pro neznámé porovnávané napětí, jsou prakticky přes oddělovací odpory R_3 , R_{10} atd. připojeny paralelně ke svorce celkového vstupu do přístroje (U). Paralelně jsou také zapojeny všechny napájecí vstupy OZ na společnou úroveň napětí $\pm U_N$. Na invertující vstupy OZ je přivedeno referenční napětí, které u OZ_1 a OZ_n určuje komparační úroveň. Proto je U_{ref} rozděleno podle napětí, které potřebujeme komparovat, na přesném děliči složeném z odporů R_1 , R_4 , R_7 atd., posledním v řadě je odpor R_{16} . Odpory R_2 , R_5 atd. již úroveň komparace podstatně neovlivňují. OZ může být v úrovňovém stupňovitém komparátoru téměř nekoněné množství. V praxi se pro větší množství komparačních stupňů používají jiné typy převodníků, neboť u mnohastupňových vyhodnocovačů je tato metoda příliš nákladná. Na výstupy každého OZ zapojeného podle obr. 34a můžeme připojit známým způsobem podle obr. 34b vstupy libovolného typu hradla TTL a vyhodnocený signál pak již zpracovávat číslicově. Komparátor podle obr. 34a má jako vyhodnocovací členy připojeny žárovky Z_1 až Z_n . Ty jsou spinány z výstupu OZ přes tranzistor a tyristor. Když sepne první komparátor OZ_n , rozsvítí se přes sepnutý tranzistor T_n žárovka Z_n . Ta je napojena ze střídavého zdroje 10 V přes diodu D_3 , omezovací odpor 33 Ω a tyristor T_y . Když se překlopí OZ, který je zapojen jako komparátor o „stupinek výše“, takže z celé kaskády žárovek Z_1 až Z_n vždy svítí pouze jedna, která vlastně určuje, v jakém



Obr. 35. Elektronický vyhodnocovač napětí s OZ a relé; a) princip, b) aplikace

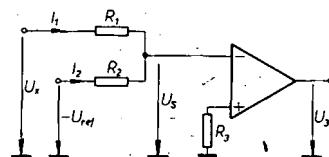
tolerančním poli se nachází neznámé porovnávané napětí U .

Zapojení podle obr. 35 je také komparátor, ale patří již jaksi mezi aplikaci schématu. Je to relé, doplněné komparátem napěťové úrovni, něhož je zavedena hysterese neobvyklým způsobem. Jakmile se na výstupu OZ objeví kladné napětí, sepne tranzistor a jeho proudem je buzeno relé Re . To svým kontaktem re zkratuje odpor R_3 , který změní velikost referenčního napětí přiváděného na neinvertující vstup komparátoru. Velikost hysterézního napětí lze v tomto případě měnit od nuly do velikosti, určené maximální hodnotou R_3 . Samotné zapojení je vhodné jako řídící člen při nespojitě regulaci jakéhokoli veličiny, kterou lze převést jako elektrické napětí, přiváděné např. na ručkový měřicí přístroj. Voltmetr M může být součástí libovolného měřicího přístroje a v klidovém stavu při nezapnutém tlačítku T_1 plní svoji funkci, komparátor je prakticky připojen pouze přes odpor R_1 do invertujícího vstupu OZ. Úroveň, při které spíná výstupní relé, se nastaví tak, že stiskneme tlačítko. Tím se odpojí voltmetr M a napětí, které se přivádí z běžce potenciometru R_2 a které při činnosti komparátoru považujeme za referenční se připojí na voltmetr M . Potenciometrem R_2 pak na stupnici voltmetu nastavíme takové stejnosměrné napětí, při kterém chceme, aby relé spíhalo. Vrátíme-li tlačítko zpět do klidové polohy, musí relé spínat tehdy, když na vstup přijde větší stejnosměrné napětí, než jaké jsme předtím na stupnici nastavili pomocí potenciometru. Trimrem R_3 nastavíme potřebnou hysterese, aby relé Re nekmitalo, když měřená veličina kolísá kolem referenční hodnoty. Nesmíme zapomenout, že změnou R_3 se v tomto zapojení mění i celkové referenční napětí, neboť se mění poměry v děliči složeném z R_3 , R_2 a R_5 . Referenční napětí je zde bráno z napájecího napětí $-U_N$ a kvalita porovnávání je závislá na stabilitě tohoto napětí. V zapojení předpokládáme, že vstupní odpor OZ je mnohem větší než vnitřní odpor voltmetu M a že součet odporů $R_2 + R_3$ je menší než vnitřní odpor voltmetu.

První podmínka je obvykle dobře splněna, v druhém případě to je již obvykle horší. V krajním případě lze volit výši úrovni komparovaných napětí a ke vnitřnímu odporu voltmetu M přičist i příslušný předřadný odpor, který je téměř vždy k voltmetu přiřazen. Několik zapojení lze také použít vedle sebe s cílem, aby se komparovalo několik úrovní. Spojí se paralelně z vývodu tlačítka k zápornému pólu voltmetu a pro všechny lze použít společný napájecí $\pm U_N$. Praktických použití pro takový obvod je velmi mnoho. Jeden za všechny: pokud máme v nádrži odpovídající hodnotě vody, podobným způsobem můžeme měřit vodou v každém automobilu a voltmetu M ukazuje výšku hladiny, můžeme tímto obvodem řídit čerpadlo. Jakmile hladina poklesne pod určitou úroveň a na vstupu se zvětší napětí nad úroveň nastavenou potenciometrem R_2 , sepne relé Re , jehož kontakty již přímo spínají stykač motoru čerpadla. Horní hladinu, při níž relé přes stykač vypne motor, nastavíme pomocí „hysterese“, tj. napětím, určeným změnou odporu R_3 .

Proudový komparátor

Schéma na obr. 36 je zapojením scítacího zesilovače, modifikace to invertujícího zesilovače. Předpokládáme-li ideální zesilovač, který má nekoněné zesílení A , potom musí napětí U_S limitovat k nule. Podíl neznámého



Obr. 36. Proudový komparátor

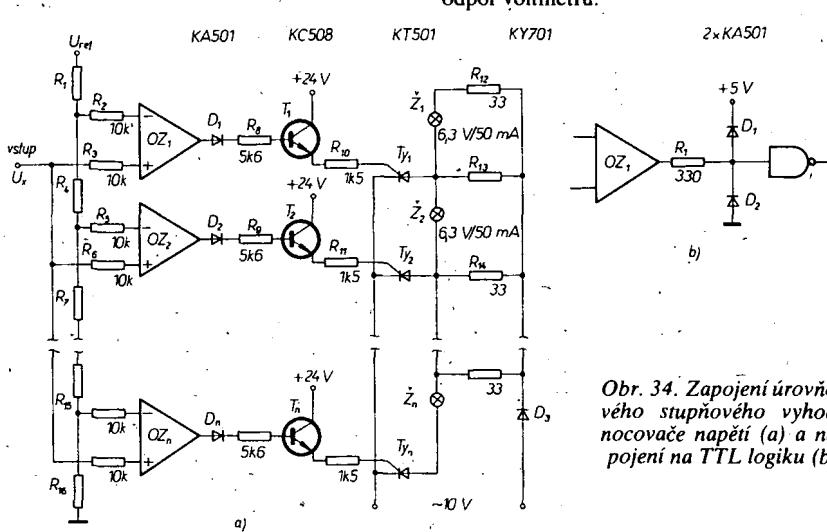
napětí k odporu R_1 a podíl referenčního napětí k odporu R_2 lze reprezentovat proudy I_1 a I_2 . Pro přenos platí vztah

$$U_S \doteq 0 \doteq U_x \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_{ref} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

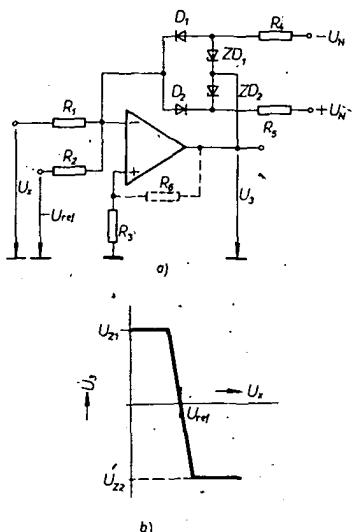
Jako proudový komparátor lze použít i operační zesilovač s jednou vstupní svorkou uzemněnou. Nevhodou je, že pokud tímto způsobem srovnáváme napětí U_{ref} s napětím U_x , musíme k odporům R_1 a R_2 připočítat vnitřní odpory napájecích zdrojů U_{ref} a U_x . Pokud je vnitřní odpor neznámého srovnávaného zdroje U_x proměnný, je toto zapojení bez úpravy nevhodné.

Odporem R_3 vyrovnané případnou nesymetrii vstupů, jeho střední hodnota je určena jako výsledná velikost dvou paralelně zapojených odporů, R_1 a R_2 .

I u proudového komparátoru lze realizovat „hysterese“ prakticky stejným způsobem



Obr. 34. Zapojení úrovňového stupňového vyhodnocovače napětí (a) a napojení na TTL logiku (b)



Obr. 37. Proudový komparátor s oboustranným omezovačem výstupního napětí (a) a jeho charakteristika (b)

jako u napěťového komparátoru tak, že z výstupu zavedeme kladnou zpětnou vazbu na invertující vstup OZ – v obr. 37 je to nazámeno čerchované (odpor R_6). Na stejném obrázku je rychle reagující proudový komparátor s omezovacími Zenerovými diodami ve zpětné vazbě. Dioda D_1 vede pro oblast $U_3 - U_{Z1} > 0$ a dioda D_2 pro $U_3 + U_{Z2} < 0$. Tím je v této oblasti zavedena záporná zpětná vazba a zesílení je dáno

$$\text{poměrem } \frac{R_{ZD2} + R_{D2}}{R_1}, \text{ případně v druhé oblasti } \frac{R_{ZD1} + R_{D1}}{R_1}.$$

Protože odpory diod R_{ZD1} , R_{ZD2} , R_{D1} a R_{D2} jsou v propustném směru ve srovnání s R_1 malé, zesílení je také malé a zapojení pracuje v omezující části převodní charakteristiky (obr. 37b). Naopak pro výstupní napětí U_3 , splňující nerovnost $-U_{Z2} < U_3 < +U_{Z1}$ nevede žádná z diod D_1 , D_2 . Záporná zpětná vazba je rozpojena a zesílení je dáno poměrem

$$\frac{R_{ZN1}}{R_1}, \text{ popř. } \frac{R_{ZN2}}{R_1},$$

kde R_{ZN1} a R_{ZN2} jsou odpory diod D_1 a D_2 , v nepropustném směru, odpory jsou velké, takže i zesílení je velmi velké. Pokud se takový komparátor používá na mezech dynamických vlastností, uplatňují se v tomto zapojení i kapacity diod D_1 a D_2 a celek se chová jako integrátor s časovou konstantou $C_0 R_{RN}$, kde C_0 je dynamická kapacita diody.

Rychlé komparátory

Při připojení skokového napětí U_s na vstup komparátoru bude výstupní napětí (jako u každého elektronického zařízení) do jisté míry (proti vstupnímu) zpožděno. Pro rychlé komparátory se vyrábějí speciální OZ, které mají dobu odesvý na jednotkový signál kolem desítek, mnohdy však pouze jednotky ns. Dosahuje se toho obvodovými úpravami a zejména tím, že výstup OZ při komparaci napětí není využíván až do stavu saturace.

Příkladem rychlého komparátoru je např. monolitický komparátor SN72710N Texas Instruments. Pro nás jsou dostupné výrobky NDR typu A110 nebo B110. Některé typy rychlých komparátorů mají již výstupy pří-

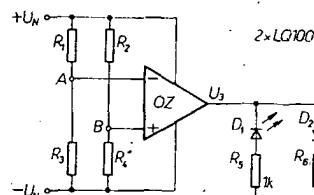
způsobené k přímému připojení na logiku TTL.

OZ a měření odporu

Odpor lze měřit mnoha způsoby. Za základní lze považovat metody, které vycházejí z Ohmova zákonu. Při jednotkovém proudu odporom měříme napětí, které je pak neznámému odporu přímo úměrné. Stupnici voltmetru při tomto způsobu měření lze cejchovat přímo v ohmech.

Pro využití OZ jsou velmi vhodné můstkové metody měření odporu. Jedno ze základních zapojení vhodné pro stanovení neznámého odporu můstkovou metodou je na obr. 38. Můstek pracuje ve vyrovnaném stavu tak, že pro nulové napětí v úhlopříčce můstku, tj. mezi body A, B, musí platit základní vztah:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$



Obr. 38. Můstková metoda měření odporu

Neznámý měřený odpor zařadíme místo jednoho libovolného odporu v jedné větvi můstku, v další větvi volíme odpor jako proměnný, hřídel proměnného odporu. Opatříme stupnici a ocejchujeme. Měříme tak, že proměnným odporem můstek vyrovnáváme a na stupnici při vyrovnaném můstku čteme velikost neznámého odporu. To jsou zcela známé a základní skutečnosti. Přenos OZ u můstkových metod je v tom, že nahrazují kvalitní nulový indikátor, zapojený v úhlopříčce můstku. Přesnost libovolné můstkové metody závisí nejen na tom, jak přesné odpory, případně impedanční použijeme v jednotlivých větvích můstku, ale i na kvalitě nulového indikátoru, který určuje, s jakou přesností je možno můstek výrovnat. I zcela běžné OZ se svými vlastnostmi přibližují v tomto zapojení klasickým galvanoměrům, které jsou velmi nákladné a především poměrně málo „mobilní“. OZ lze použít jako nulový indikátor v jakémkoli typu můstku. Na jeho výstupu pak můžeme měřit úrovně výstupního napětí U_3 již libovolným nenáročným voltmetrem. Pro amatéry je šikovné k indikaci nulového napětí a vyvážení můstku použít dvě svítivé diody, např. typu LQ100 TESLA, zapojené podle obr. 38 antiparalelně k výstupu OZ.

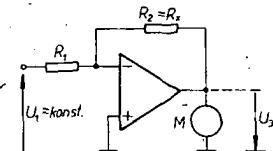
Je-li na výstupu OZ záporné napětí, svítí jedna dioda, je-li kladné, svítí druhá dioda. Při vyrovnaném můstku, když se napětí U_3 blíží k nule, obě diody zhasnou. Při současných cenách svítivých diod vzhledem k tomu, že výstupní proud OZ stačí přímo bez vnějšího tranzistoru nebo jiného členu k rozsvícení svítivé diody, je takto řešená indikace nuly velmi výhodná.



Metody „zpětnovazebního odporu“

Tyto metody mají jednu společnou charakteristikou. Měřenou součástku vkládáme do zpětné vazby OZ a ze změny výstupního napětí OZ pak usuzujeme na její odpor. Těmito metodami lze měřit odpor ve velmi širokém rozsahu, bez proudového zatištění měřené součástky (nebo jen s maximálním zatištěním). Výsledkem je lineární úměrnost mezi výsledným napětím a měřeným odorem, což zjednoduší znamená, že při použití ručkového měřidla jako indikátoru měřeného odporu bude stupnice lineární, cejchovaná v ohmech. Nejpodstatnější výhodou je skutečnost, že se tyto metody dobře hodí pro použití v multimetrech a při automatizačních měřeních, neboť se v takto konstruovaných měřicích odporech snadno zavádí automatická změna rozsahu. Protože OZ pracují prakticky stejně při stejnosměrných i střídavých napětích, lze tyto metody velmi dobře aplikovat i při měření neznámých impedancí střídavých proudem.

Principiálně nejjednodušší metoda měření neznámého odporu je na obr. 39. Jde vlastně



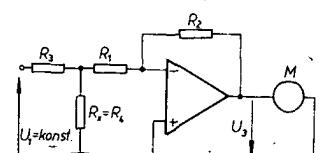
Obr. 39. Metoda zpětnovazebního odporu

o zapojení běžného typu invertujícího zesilovače, o němž jsme si řekli, že pro výstupní napětí U_3 platí vztah:

$$U_3 = -U_1 \frac{R_2}{R_1}$$

Přivedeme-li na vstup stabilizované výstupní napětí U_1 a je-li odpor R_1 konstantní, je potom výstupní napětí U_3 lineárně přímo závislé na změně odporu R_2 . Jestliže pak do zpětné vazby OZ připojujeme místo R_2 měřený neznámý odpor, je na výstupu OZ napětí U_3 úměrné hodnotě neznámého odporu, přičemž rozsah měření můžeme přímo přepínat změnou odporu R_1 nebo změnou stabilizovaného napětí U_1 . Napájecí napětí použitého OZ zde stejně jako u můstkových metod hraje nepodstatnou roli, nebo, lépe řečeno, jeho vliv je silně potlačen.

Pro měření odporu menších než jeden kilohm je vhodnější zapojení podle obr. 40.



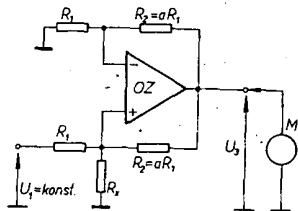
Obr. 40. Metoda měření odporu menších než $1 k\Omega$

Cím je totiž odpor R_2 menší, tím více se začínají uplatňovat nelinearity OZ. Proto je lépe měnit neznámým odporem vstupní poměry invertujícího zesilovače. Pro převod U_1 na U_3 v tomto zapojení platí vztahy

$$U_3 = -U_1 \frac{R_2}{R_1} \frac{R_4}{R_3 + R_1}$$

Zajistíme-li podmínu, že vnitřní odpor zdroje konstantního napětí U_1 se blíží nule a odpory R_1 a R_3 jsou mnohem větší než měřený odpor ($R_4 = R_1$), zjednoduší se uvedený vztah na

$$U_3 = -U_1 \frac{R_2}{R_1} R_4$$



Obr. 41. Využití diferenciálne zapojeného OZ k měření odporů.

Jak je patrné, i v tomto případě závisí napětí U_3 lineárně pouze na změně R_x , přičemž rozsah lze snadno měnit změnou napětí U_1 nebo změnou děliče $\frac{R_2}{R_1}$ ve zpětné vazbě OZ.

Uvedené způsoby měření odporu nejsou vyčerpávající. Využít lze např. diferenciálního zapojení OZ podle obr. 41. Pro výstupní napětí pak platí vztah

$$\dot{U}_3 = R_s (1 + A) \frac{U_1}{R_1}$$

Tento způsob měření odporu je prakticky rovnocenný předcházejícím způsobům. I v tomto případě je stupnice měřicího přístroje M na výstupu OZ (ocejchovaná v ohmech) lineární. Snad jedinou nevýhodou je nutnost zachovat souměrnost odporu v obou vstupech OZ.

Ohmmetr s operačním zesilovačem

Přístroj (obr. 42) je praktickou aplikací měřicích metod, které jsme nazvali metodami „zpětnovazebního odporu“. Výhodou přístroje je, že rozsah stupnice je v celé oblasti měření lineární a měřený odpor je minimálně zatěžován procházejícím proudem. Jasnou nevýhodou je skutečnost, že ani jedna svorka pro připojení měřeného odporu není spojena se zemí nebo alespoň s jedním půlem napájecího zdroje, měřicí svorky K_1 a K_2 jsou tedy (jak se říká) „plovoucí“.

Prístroj je schopен mēriť neznámé odporы v rozsazích $10\ \Omega$, $100\ \Omega$, $1\ k\Omega$, $1000\ k\Omega$. Rozsahy prístroja se pěripínají spínači S_1 a S_2 , přičemž S_1 slouží pouze k změně rozsahu ze $100\ \Omega$ na $1\ \Omega$. Není-li do svorek K_1 a K_2 vložen žádný měřený odpor R_x , a je-li rozpi-

nací tlačítko T_1 v klidovém stavu, tj. jsou-li svorky K_1 a K_2 zkratovány, je ručka měřidla M v nulové poloze na stupnici. Nulová poloha ručky se deregulovává vnější kompenzací operačního zesilovače (napětím z běžeckého odpovorového trimru R_{11}). Při kompenzaci se zavádí do vstupu $1OZ$ takové správné napětí, aby na výstupu 6 bylo před počátkem každého měření při nulovém odporu mezi K_1 a K_2 na příslušném rozsahu nulové napětí, odpovídající nulové výchylce ručky na stupnici indikačního měřidla M . Stejnou funkci mají odpory R_{10} , R_{10} a R_{11} , které slouží jako proudové kompenzátory při různých rozsazích.

Zde je třeba méně zkušené upozornit ještě na jednu výhodu této metody. Pokud měříme odpory malých hodnot pomocí dlouhých přívodů na K_1 a K_2 , je měření „zatíženo“ chybou. Odpór přívodů lze však kompenzovat velmi jednoduchým způsobem. Vyřadíme rozpojovací tlačítko a svorky K_1 a K_2 , před měřením vyzkrtávajeme až na konci připojovacích šňůr v místech, do nichž pak připojíme neznámý odpór R_s . Pak nastavíme nulu trimrem R_{13} – tato kompenzace zahrne i parazitní odpory přívodů.

Sériová kombinace C_1 a R_{14} , spolu s kondenzátorem C_2 jsou vnější přídavné kompenzační obvody OZ, které zabezpečují jeho stabilitu. Zenerova dioda D_1 ochraňuje vstup OZ před zničením větším napětím, přivedeným náhodně při měření na svorky K_1 a K_2 . Přitom se předpokládá, že výstup 6OZ, který není z tohoto hlediska chráněn, není zdaleka tak citlivý na přetížení. Dioda D_2 chrání stejným způsobem měřidlo (mikroampérmetr).

Přesnost měření závisí na stabilitě napájecího napětí, které se v tomto zapojení nepoužívá pouze pro napájení OZ, ale i jako zdroj napětí U_1 pro invertující vstup OZ. Pokud je stabilita tohoto napětí dostatečná, lze dosáhnout přesnosti měření kolem 2 % za další podmínky, že zejména odpory R_1 až R_8 a R_{12} jsou teplotně stálé a vybrané s dostatečnou přesností.

Tak jak je přístroj na obr. 42 nakreslen, je zapojen měřící rozsah 100Ω . Přepnutím S_1 dosáhneme rozsahu 10Ω . Další rozsahy se volí tak, že S_1 se přepne zpět na rozsah 100Ω a vyšší rozsahy lze zařadit postupně přepínáním S_2 . Při uvádění do provozu je třeba nejprve nastavit rozsah 100Ω . Na svorky K_1 a K_2 připojíme odporovou dekádu a zvolíme

některou okrouhlou hodnotu odporu menší než $100\ \Omega$, např. $80\ \Omega$. Údaj na mikroampermétru pak doregulujeme trimrem R_{17} přesně na $80\ \Omega$. Pak přepneme přístroj na rozsah $10\ \Omega$ přepínačem S_1 . Na dekádě nastavíme např. $8\ \Omega$ a případný rozdíl výslyku ručky měřidla od $8\ \Omega$ musíme nastavit dodatečnou korekční odporníkem R_2 .

Pak přejdeme na vyšší rozsahy. Na rozsahu $1\text{ k}\Omega$ korigujeme výchylku ručky odporem R_4 , vyšší rozsahy změnou odporu R_5 . Na těchto vyšších rozsazích si můžeme při nastavení nuly pomocí i změnou odporu R_6 až R_{11} .

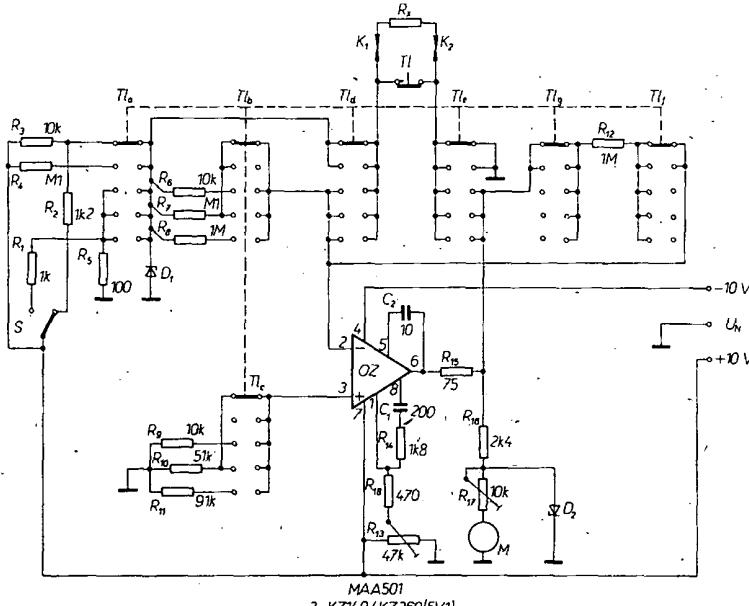
Referenční zdroje

Referenční zdroje napětí jsou elektronické obvody, které s velkou přesností generují normálové napětí, které je nutné k činnosti mnoha elektronických, zejména číselicových měřicích přístrojů a zařízení. Je zcela obvyklé, že přesnost normálového napětí určuje i přesnost přístroje a měření.

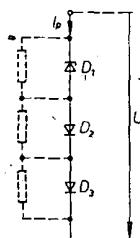
Základem každého referenčního zdroje přesného napětí je referenční prvek. Klasickým referenčním prvkem je Westonův normálový článek. Typický Westonův článek je neklopný, špatně přenosný a málo vhodný do přenosových i stabilních elektronických přístrojů, protože nesnáší otřesy. Má malé napětí: $1,0187\text{ V}$ při $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ s reproducovatelností lepší než $\pm 0,1\text{ mV}$, s teplotním součinitelem $= -4,10^{-3}/\text{C}$ a s časovou stabilitou lepší než 10^{-4} V/rok . Článek má relativně velký vnitřní odpor (kolem $1\text{ k}\Omega$) a velmi malý dovolený zatěžovací proud (obvykle menší než $1\text{ }\mu\text{A}$). Z hlediska amatérského použití je nutno podotknout, že další překážkou je značná cena Westonova článku.

Běžným a nejrozšířenějším referenčním prvkem je Zenerova dioda. Zapojení v závěrném směru má v oblasti Zenerova napětí malý diferenciální odpor a poměrně stabilní napětí. Vyrábějí se Zenerovy diody se Zenerovým napětím v rozsahu 3 až 15 V. Diody o Zenerově napětí menším než 6 V mají záporný teplotní součinitel $K_{[V/^\circ C]}$ Zenerova napětí. Diody se Zenerovým napětím větším než 6 V mají teplotní součinitel K , kladný. Z toho plyne, že nejlepší Zenerovy diody z hlediska teplotné stability jsou typy, které mají U_z okolo 6 V. Typická velikost K u běžných Zenerových diod je $\pm 10^{-4}$ až $10^{-3} V/^\circ C$.

Referenční prvek s takovou stálostí je pro náročné použití málo vhodný a proto se používají tzv. kompenzované diody; tyto referenční diody jsou Zenerovy diody, které mají v sérii (viz obr. 43) obvykle dvě křemíkové diody v propustném směru. Diody se „skádají“ tak, že teplotní součinitel Zenerových diod je velikostí stejný jako teplotní součinitel obou křemíkových diod v propustném směru, ale má opačné znaménko. Vý-



Obr. 42. Ohmmeter s operačním zesilovačem

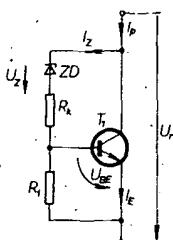


Obr. 43. Zenerova dioda kompenzovaná dvěma Si diodami

sledný teplotní součinitel celého zapojení $K_t = K_{D1} + K_{D2} + K_{D3}$ se v ideálním případě blíží nule. Profesionálně vyráběné referenční diody tohoto typu mívají teplotní součinitel K_t lepší než $10^{-7} \text{ V}/^\circ\text{C}$ (např. TESLA KZZ81). Typický součinitel komerčních diod hývá v rozmezí 10^{-5} až 10^{-7} . Pro udržení přesných mezních podmínek a pro skutečně stabilní výstupní napětí je nutno obvykle stabilizovat příčný proud referenční diodou a je obvyklé umísťovat diodu do jednoduchého termostatu, nebo alespoň ji nevystavovat účinkům tepelného záření některé více tepelně namáhané součásti.

Pro profesionální výrobu referenčních diod je uvedené zapojení málo výhodné tím, že je nutný individuální výběr jak Zenerových, tak kompenzačních diod. V amatérských podmírkách lze měřit teplotní součinitel diod v olejové lázni při zvoleném příčném proudu. Teplomerem měříme teplotu lázni a v závislosti na zvyšující se teplotě měříme u Zenerových diod změnu Zenerova napětí a u křemíkových diod změnu úbytku v předním směru. Diody si očíslováme a pak výběrem musíme najít takové kombinace, u nichž se výsledný součinitel sériového spojení Zenerových diod a jedné až dvou diod křemíkových blíží k nule. Pro přesné měření změny napětí je nutný voltmetr, který měří alespoň na čtyři platná místa, nejlépe číselcový.

Další možné zapojení referenční diody je na obr. 44. Zenerova dioda a odporník R_t



Obr. 44. Zenerova dioda kompenzovaná tranzistorem

zapojené mezi bází a kolektorem tranzistoru T_1 tvoří zápornou zpětnou vazbu, která automaticky nastavuje proud I_z na

$$I_z = \frac{U_{BE}}{R_1} + \frac{I_c}{h_{21e}}$$

kde I_c je kolektorový proud T_1 a U_{BE} jeho napětí báze-emitor.

Pro celkové referenční napětí pak platí:

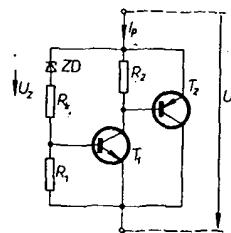
$$U_{ref} = U_z + I_z R_t + U_{BE}$$

přičemž kladný teplotní součinitel Zenerova napětí U_z je kompenzován záporným teplotním součinitelem U_{BE} tranzistoru T_1 . Výhodou zapojení je zejména podstatné zmenšení dynamického odporu celého zapojení, který pro dostatečně velké proudové zesílení h_{21e} použitého tranzistoru je

$$r_d = r_e \frac{r_z + R_1}{r_e + R_1}$$

kde r_e je diferenciální emitorový odporník tranzistoru T_1 a r_z diferenciální odporník použité Zenerovy diody.

Odporem R_t lze nastavit kompenzaci teplotního součinitele referenční diody v případech, kdy součinitel K_t Zenerovy diody je kladný a v absolutní hodnotě větší než



Obr. 45. Zenerova dioda kompenzovaná dvěma tranzistory

záporný teplotní součinitel přechodu B-E kompenzačního tranzistoru T_1 .

Zapojení na obr. 45 je alternativou předchozího a vyznačuje se zejména tím, že potlačuje závislost teplotní kompenzace referenční diody na příčném proudu, která vzniká závislostí součinitelů K_t přechodu B-E na kolektovém proudu. U zapojení je kolektový proud I_c tranzistoru T_1 stabilizován tranzistorem T_2 . Navíc se vnitřní dynamický odporník celého „prvku“ zmenší na

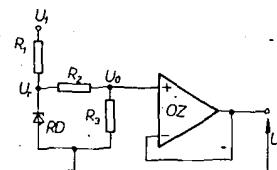
$$r_d = r_e \frac{r_z + R_1}{R_{20}} \frac{R_1 + R_k}{R_1}$$

kde r_e je diferenciální emitorový odporník tranzistoru T_1 a

r_z diferenciální emitorový odporník tranzistoru T_2 .

Základem každého zdroje referenčního napětí je, jak jsme již uvedli, kvalitní napětí z referenčního prvku. Ve schématu bude me referenční prvek kreslit jako Zenerovu diodu a značit RD. Učelem referenčního zdroje je upravit výstupní napětí referenčního prvku na potřebnou úroveň a zároveň zajistit, aby referenční prvek měl stálé zatezovací podmínky.

Nejbežnější zapojení referenčního zdroje je na obr. 46. Referenční prvek RD je napájen příčným proudem ze zdroje U_1 přes odporník R_1 , který určuje velikost příčného proudu. Děličem R_2 a R_3 se referenční napětí



Obr. 46. Základní zapojení referenčního zdroje

zmenší na potřebnou úroveň U_0 . Protože OZ je zapojen jako sledovač napětí a oddělovač zpětné vazby, je výstupní napětí U_3 rovno U_0 a proto platí

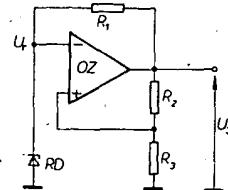
$$U_3 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} U_0$$

OZ v tomto zapojení se chová jako zdroj konstantního napětí, řízený úrovní U_0 , s velkým vstupním odporem, o němž předpokládáme, že je mnohem větší než odpory R_2 a R_3 . Zesílení OZ je 1, takže změnit případně výstupní napětí lze pouze změnou odporu děliče R_2 a R_3 . Samozřejmě je, že výstupní napětí U_3 je v tomto zapojení vždy menší, než napětí referenční.

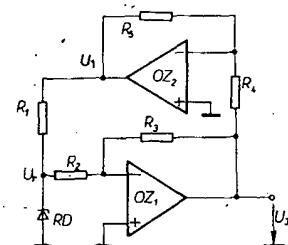
V zapojení obr. 47 je naopak výstupní napětí U_3 vždy větší než napětí referenční, což je opět dánou poměry v děliči R_2 , R_3 .

$$U_3 = \frac{R_2 + R_3}{R_3} U_0$$

Pokud referenční diodu napájíme z výstupu U_3 , vyloučili jsme vlastně zápornou zpětnou vazbu vliv dynamického odporu refe-



Obr. 47. Referenční zdroj



Obr. 48. Jiná alternativa referenčního zdroje

renčního prvku na stabilitu výstupního napětí.

Referenční zdroj podle obr. 48 je alternativou invertujícího zesilovače, takže pro výstupní napětí U_3 platí

$$U_3 = - \frac{R_3}{R_2} U_1$$

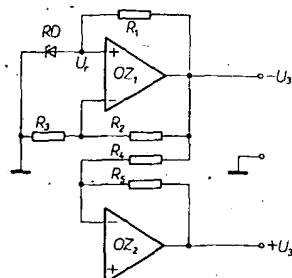
Podle toho, je-li odporník R_2 větší nebo menší než R_3 , je také výstupní napětí U_3 menší nebo větší než napětí referenční, jak ostatně plyne z uvedeného vztahu pro přenos.

Pokud přidáme OZ₂, je referenční prvek napájen ze zdroje konstantního napětí, které si referenční prvek sám sobě stabilizuje

$$U_1 = - \frac{R_5}{R_4} U_3 = \frac{R_3 R_5}{R_2 R_4} U_1$$

Zde ovšem musíme dodržet podmíinku, že napětí U_1 musí být větší než referenční napětí U_1 a $R_3 R_5$ větší než $R_2 R_4$.

S jedním referenčním prvkem je možno realizovat symetrický referenční zdroj podle obr. 49. Záporné výstupní napětí $-U_3$ zde „vyvouzí“ OZ₁, kladné napětí $+U_3$ se získává inverzí záporného napětí $-U_3$ pomocí OZ₂. Jestliže zesílení stupně s OZ₂ je rovné



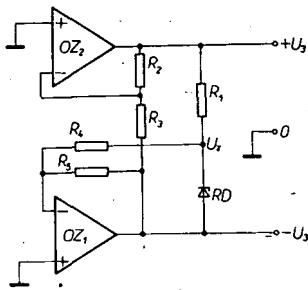
Obr. 49. Symetrický zdroj referenčního napětí.

1, což se zajistí podmíinkou, že $R_4 = R_5$, platí pro absolutní hodnotu výstupního napětí vztah

$$|U_3| = \frac{R_2 + R_3}{R_3} U_1$$

Z toho plyne zároveň i skutečnost, která je patrná ze schématu, a to že výstupní napětí U_3 je vždy větší než napětí referenční.

Jiným typem symetrického referenčního zdroje je zapojení podle obr. 50. Referenční prvek je napájen stabilizovaným napětím $2 U_3$ přes odporník R_1 . Operační zesilovač OZ₁



Obr. 50. Jiná alternativa symetrického zdroje

pracuje jako inverzor, pro jehož výstupní napětí platí

$$U_3 = -U_1 \frac{R_5}{R_4 + R_5}$$

Symetrické kladné výstupní napětí $+U_3$ bude stejně jako $-U_3$, má-li OZ₂ zesílení 1, což zajistíme splněním podmíny

$$R_2 = R_3.$$

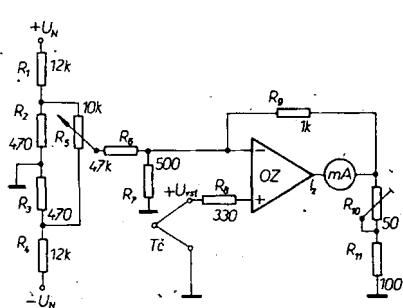
Při použití nekompenzované referenční diody jako referenčního prvku lze dosáhnout v rozsahu napětí $U_3 = 1$ až 10 V vnitřního odporu zdroje 10^{-2} až 10^{-3} Ω při teplotním součiniteli výstupního napětí 10^{-3} $V/^\circ C$ a časové stabilitě napětí $10^{-3}/1000$ h. Použijte-li se jako referenční prvek teplotně kompenzované referenční dioda, zlepšují se uvedené parametry stability alespoň o dva rády.

Kromě toho, že referenční zdroje napětí lze realizovat z diskrétních součástek, výrábějí se průmyslově hybridní i integrované referenční zdroje (např. MAA723).

Měření teploty s termoelektrickým článkem a OZ

Na obr. 51 je typické schéma připojení termoelektrického článku k OZ. Z elektrického hlediska je termočlánek aktivním zdrojem elektrické energie o téměř nulovém vnitřním odporu a velmi malém svorkovém napětí. Typický přírůstek svorkového napětí na $100^\circ C$ je asi 5 mV. Teploměr ukazuje závislost tohoto elektrického napětí na teplotě. Stupnice takového teploměru je s určitou přesností v široké oblasti měření lineární. Připojení OZ k termočlánu sleduje obvykle tyto cíle: měřený signál oddělit a zesílit, roztahnout stupnice měřidla a upravit její průběh, aby byl lineární až od „zajímavých“ velikostí teploty.

V našem zapojení je zesílení celého stupně dáné poměrem odporníků R_7 a R_9 , potenciometrem R_5 se nastavuje úroveň měřeného signálu – tedy teploty, od níž je výstupní napětí kladné (tedy počátek měření). Vlastní termočlánek je kladným vývodem výstupního napětí připojen k neinvertujícímu vstupu



Obr. 51. Měření teploty termočlánkem

OZ. Přenos zesilovače je při ideálním OZ dán vztahem

$$I_L = \frac{1}{R_{10} + R_{11}} \frac{R_7 + R_9}{R_7},$$

kde I_L je proud tekoucí do měřidla – miliampermétru M, jehož stupnice je ocejchována ve stupních teploty a

U_{in} aktivní výstupní napětí termočlánku.

Pro přesné určení teploty platí při použití termočlánků řada doporučení. Kromě zařízení k vlastnímu měření – snímače – má termočlánek obvykle ještě termostatované srovnávané místo s konstantní teplotou, s níž vlastně teplotu v měřeném místě srovnáváme, a kompenzační vedení, kterým jsou obě místa, měřené a srovnávací mezi sebou propojena.

Vlastní termočlánek je vytvořen bodovým svařením dvou kovů, jejich pásků nebo pouhých drátů. Mezi typické termočlánky patří např. článek železo-konstant. Je vhodný pro měření teplot od $-200^\circ C$ do teplot kolem $+900^\circ C$. Výstupní napětí při $0^\circ C$ je 0 V, při $100^\circ C$ $5,37$ mV, při $200^\circ C$ $10,95$ mV, při $300^\circ C$ $16,56$ mV, při $500^\circ C$ $27,85$ mV a při $900^\circ C$ $53,07$ mV. Dalším je článek chromel-kopel. Je vhodný pro teploty od $-50^\circ C$ do $+600^\circ C$, krátkodobě až $800^\circ C$. Výstupní napětí při $0^\circ C$ je 0 V, při $100^\circ C$ $6,95$ mV, při $200^\circ C$ $14,66$ mV, při $300^\circ C$ $22,90$ mV, při $500^\circ C$ $40,15$ mV a při $800^\circ C$ $66,36$ mV.

Dále se používají termočlánky chromel-alumel pro teploty $-50^\circ C$ až $1000^\circ C$, krátkodobě až $+1300^\circ C$; platinarhodium 10 – platina pro teploty od $0^\circ C$ do $1300^\circ C$, krátkodobě až $+1600^\circ C$; pro vyšší teploty ještě platinarhodium 30 s platinarhodium 6. Ten lze užívat až do teplot kolem $1800^\circ C$.

Kromě těchto „normalizovaných“ termočlánků se používají i mnohé jiné typy. Termoelektrické napětí lze získat při vztahem spojení prakticky všech kovů. Pro méně náročná měření a amatérské účely se nejvíce používá snadno dostupný termočlánek železo-měď, případně měď-konstantan.

Pro měření s termočlánky a zacházení s nimi jsou vydány dvě ČSN normy: ČSN 35 6710, Druhy a napětí termoelektrických článků a ČSN 25 8010, Směrnice pro měření teplot v průmyslu.

Měření teploty na nevyváženém termistorovém můstku

Teplotu lze měřit přimoukajícím měřicím ručkovým přístrojem připojeným k nevyváženému termistorovému můstku přes operační zesilovač. Termistory jsou vhodné pro měření nízkých teplot v rozmezí $-40^\circ C$ až $+150^\circ C$. Všechny prvky zapojené v můstku – oba termistory a oba odpory – mají stejný odpor $R = 120 \Omega$. Jeden z termistorů je v místě měření teploty, druhý má být v místě, které má konstantní (vztažnou) teplotu, vůči které vlastně teplotu měříme.

Výstupní napětí je dáné přenosem OZ

$$U_3 = U_1 \frac{R_2}{R_1}$$

Obr. 52. Měření teploty na nevyváženém termistorovém můstku

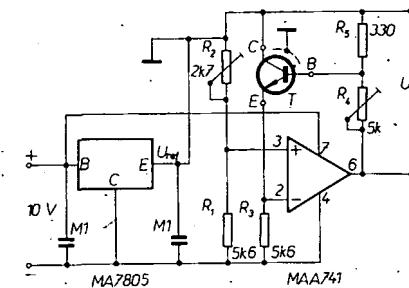
v našem konkrétním případě, podle obr. 52, kde $R_2 = 120 \text{ k}\Omega$ a $R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$, $U_3 = 100 U_1$.

V zapojení musíme dodržet tyto obecné zásady: odpor R_1 má být mnohem větší než poloviční odpor prvků v měřicím můstku; $R_1 = R_3$ a $R_2 = R_6$.

Nulové výstupní napětí U_3 pro zvolenou počáteční teplotu nastavíme potenciometrem nebo trimrem R_7 . Pro přímé měření teploty může být stupnice multimetu M ocejchována přímo ve stupních teploty. Rozsah stupnice upravíme podle potřeby změnou zesílení, tedy nejlépe změnou odporu R_2 .

Obvody převádějící lineárně teplotu na napětí

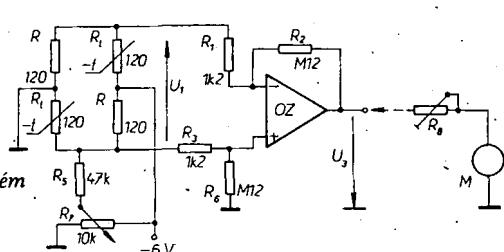
Pro rozsah teplot od $-30^\circ C$ do $+130^\circ C$ s odchylkou od linearity menší než 1% lze použít zapojení podle obr. 53. V zapojení je využito lineární závislosti napětí báze-emitor křemíkových tranzistorů na teplotě. Tato závislost je asi $2,2 \text{ mV/K}$.



Obr. 53. Obvod převádějící teplotu na napětí s tranzistorem

Tranzistor T, který je použit jako teplotní čidlo, připojíme k obvodu stíněnými vodiči. Tranzistor předevede vyzkoušme, několikrát zahřejeme a zchladíme v rozmezí požadovaných měřených teplot a teprve potom lepěním upevněme do sondy. Lze využít libovolného křemíkového tranzistoru, avšak vzhledem k tomu, že obvykle požadujeme rychlou reakci obvodu na změnu měřené teploty, použijeme tranzistor malých rozměrů. Proudový zesilovací činitel použitého tranzistoru má být v mezích 100 až 200. Sonda, ve které je tranzistor upevněn, musí odpovídat tvarem a materiálem požadované aplikaci a proto není podrobněji popisována. Zásadně by však měla vyhovět požadavku bezpečnosti při použití síťového zdroje (hlavně při aplikaci v lékařství) a nesmí vlivem nadměrného odvádění tepla zhoršit přesnost měření. Její konstrukce samozřejmě ovlivní i teplotní setravnost přístroje.

Přístroj je napájen ze zdroje 10 V. Protože přesnost měření vyžaduje stabilní napájecí napětí, je použit integrovaný stabilizátor napětí MA7805, který stabilizuje referenční napětí obvodu. Tranzistor T je zapojen v jedné úhlopríčce vstupního můstku operačního zesilovače MAA741. Při ohřívání tohoto tranzistoru se zmenší napětí mezi bází a emitorem, avšak působením operačního



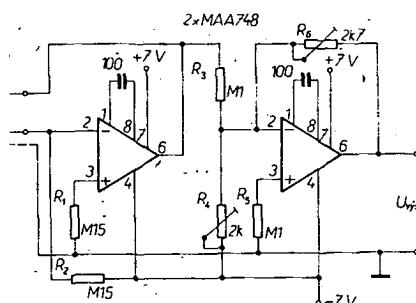
zesilovače a děliče z odporů R_4 a R_5 zůstává napětí U_{CE} na tranzistoru konstantní. Změna napětí mezi kolektorem a bází tranzistoru je úměrná teplotě tranzistoru, použitého jako čidlo. Výstupní napětí U je 0 až 2,5 V pro rozsah měřených teplot 0 až 100 °C. Přístroj nastavujeme takto:

1. Čidlo umístíme do prostředí s teplotou 0 °C, tj. do tajícího ledu a po ustálení teploty nastavíme potenciometrem R_2 nulové napětí U .
2. Čidlo umístíme do vařící vody, tj. 100 °C, a potenciometrem R_4 nastavíme napětí 2,5 V.

Postup několikrát opakujeme a teplotu přitom můžeme kontrolovat jiným teploměrem. Výstup U nezměníme přitom zatěžovat menším odporem než 1 kΩ a je vhodné, je-li tento zatěžovací odpor stejný jako odpor požději používaného měřidla nebo navazujícího obvodu. Současně zjistíme tepelnou setrvačnost čidla.

Při měření teploty nižších než 0 °C se změní polarita napětí U . Chceme-li tedy používat k indikaci teploty běžné ručkové měřidlo, je vhodné zvolit na stupnici místo pro teplotu 0 °C přibližně do 1/4 rozsahu (potenciometrem R_2) a stupnici přístroje ocejchovat s použitím přesného teploměru v olejové lázni.

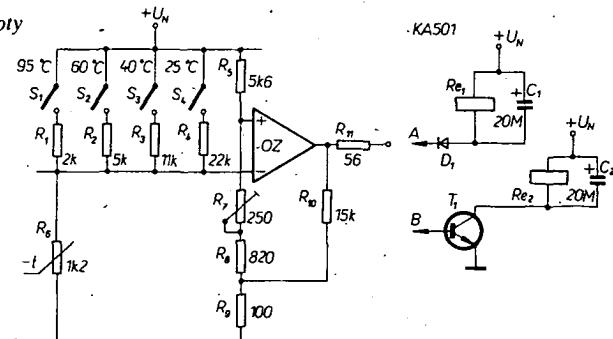
Na obr. 54 je schéma zapojení jiného obvodu, který jako čidlo používá namísto tranzistoru diodu. První operační zesilovač typu MAA748 pracuje jako zdroj konstantního proudu 50 μA, který protéká diodou. Průtok, tekoucí do invertujícího vstupu operačního zesilovače lze zanedbat, neboť je přibližně o tři rády menší.



Obr. 54. Obvod převádějící teplotu na napětí s diodou

Napětí, které vznikne na diodě, je úměrné teplotě diody. Toto napětí je zesilováno druhým operačním zesilovačem stejněho typu. Potenciometrem R_4 nastavujeme nulové napětí při 0 °C a potenciometrem R_6 nastavujeme zesílení druhého operačního zesilovače tak, aby výstupní napětí odpovídalo požadovanému rozsahu teplot. Výhodou tohoto zapojení je vzájemná nezávislost obou potenciometrů, takže není nutné nastavování opakovat. Diodové čidlo je nutno dokonale odstínit, neboť je připojeno k ob-

Obr. 56. Regulátor teploty

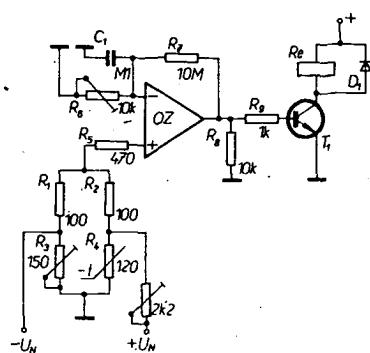


vodu přes poměrně velké odpory a ani jeden z jeho přívodů není uzemněn. Obvod je nutno napájet ze stabilizovaného napájecího zdroje. Lze použít zdroj s integrovaným obvodem typu MAA723 podle obr. 55. Zatěžovací impedance by měla být větší než 10 kΩ.

Regulátor teploty

Regulátor teploty podle obr. 56 má za základ vyvážený termistorový můstek, v jehož úhlopříčce je připojen OZ. Teplotním čidlem je odpor R_6 , který je realizován termistorovým čidlem, které má při 20 °C odpor 1,2 kΩ.

Cinnost přístroje je jednoduchá. Požadovaná teplota se zvolí stisknutím jednoho z přepínačů spínačů S_1 až S_4 (konstrukčně nejlépe tlačítko typu ISOSTAT, u něhož zapnutím jednoho, se zapojí druhý). Spínači se můstku přiřadí vždy jeden z řady odporů R_1 až R_4 . Pokud čidlo, tj. termistor R_6 má v této fázi regulace větší odpor než přísluší požadované teplotě a můstek je proto rozvážený, objeví se na výstupu OZ kladný napětí, relé sepně svými kontakty topení v prostoru, kde se nachází teplotní čidlo s termistorem R_6 . Když se teplota zvýší natolik, že můstek bude v rovnováze (tj. v úhlopříčce můstku je napětí, které se-blíží k nule), napětí na výstupu OZ se zmenší tak, že kotva relé odpadne. Je zřejmé, že odpory R_1 až R_4 , k nimž jsou přiřazeny konkrétní teploty, jsou na schématu pouze pro základní orientaci. Přesné nastavení je závislé na typu i druhu termistoru. Můstek se vyrovnaná obvykle pro jednu teplotu přesně tak, že např. pro pozici R_1 vybereme určitý odpor, termistorové čidlo umístíme v lázni o teplotě přesně 20 °C a odporem R_7 při odpojeném odporu R_{10} můstek vyrovnané na nulové napětí na výstupu OZ. Sepnutí relé při ostatních zvolených teplotách, pokud požadujeme přesné úrovně teploty, musíme zajistit experimentálními změnami odpory R_2 až R_4 . Spínačů S a příslušných odporů může být pochopitelně neomezené množství. Na zapojení je zajímavé to, že OZ pracuje bez zpětné vazby (s plným zesílením), což zaručuje dostatečnou citlivost zařízení. Zajímavé je také zavedení teplotní hystereze pomocí odporu R_{10} . Ten připojíme až po nastavení celého zařízení. Velikost hystereze je našem zapojení asi 5 °C.



Obr. 57. Regulátor teploty s termistorovým můstekem

Na obr. 57 je analogie regulátoru teploty s termistorovým můstekem pro jednu teplotu nastavenou v tomto případě trimrem R_3 . Na tomto zapojení je zajímavé zejména to, že OZ není připojen k úhlopříčce můstku oběma svými vstupy, ale pouze jedním (neinvertujícím) vstupem. Druhý výstup z úhlopříčky můstku je uzemněn. Citlivost zařízení se pro zvolenou úroveň sepnutí nastavuje trimrem R_6 . Záporná zpětná vazba tvořená tímto trimrem a odporem R_7 spolu s kondenzátorem C_1 je zde nutná proto, že druhý (neinvertující) vstup OZ můžeme nechat nepřipojený. Pro správnou funkci musí být zesílení celého stupně co největší, takže i poměr $R_7 : R_6$, který toto zesílení přímo určuje, musí být dostatečně velký.

Převodník pro měření efektivní hodnoty střídavého napětí

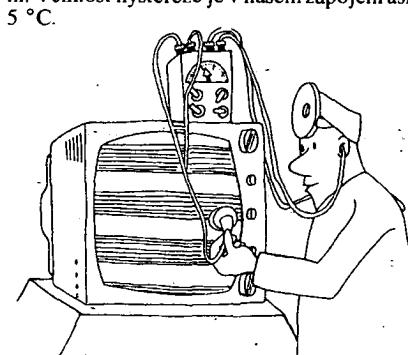
Uřít efektivní hodnotu střídavého napětí, které má průběh odlišný od běžného sinusového, není obvykle snadné. V amatérské výsílaci praxi se tento problém běžně vyskytuje např. tehdy, když chceme měřit proud do vysílační antény. K měření se v tomto případě používají ampérmetry s termokřížem.

Většina běžných měření efektivní hodnoty nesinusových průběhů je založena na měničích, které využívají skutečnosti, že efektivní hodnota střídavého proudu je přímo úměrná tepelným účinkům, které tento proud vyvolává.

Jednou z velmi používaných metod je využití operačního zesilovače a nepřímožhavených termistorů zapojených podle obr. 58. Má-li zesilovač OZ nekonečné zesílení, je můstek v rovnováze (můstek je z odporu R_1 a R_2 a nepřímožhavených termistorů R_{11} , R_{12}), je-li

$$\frac{R_1}{R_{11}} = \frac{R_2}{R_{12}}$$

V praxi se obvykle volí $R_1 = R_2$, oba nepřímožhavené termistory se volí též stejně, $R_{11} = R_{12}$, pak efektivní hodnota střídavého napětí U_1 na vstupu je rovna stejněměrnému výstupnímu napětí U_3 :

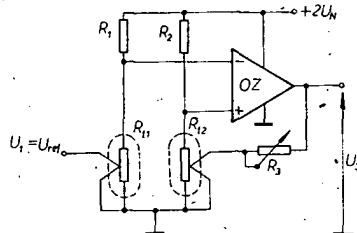


Obr. 55. Zdroj ±7 V

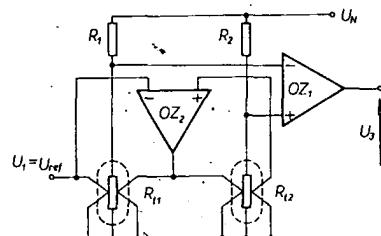
Odporem R_3 nastavíme kompenzační napětí a zároveň nulovou výstupní úroveň napětí U_3 pro nulové vstupní napětí U_1 . K napájení OZ lze v tomto případě použít nesouměrný zdroj o napětí $2U_N$, takže všechna tři napětí U_N , U_1 a U_3 v tomto případě mohou mít jeden společný uzemněný bod.

Přesnost měření efektivní hodnoty je dána stálostí parametrů termistorů, souběhem jejich teplotních součinitelů a shodnosti „topných“ průběhu. Pro amatéry je slabinou použití nepřímožhavených termistorů, které prakticky nejsou na tuzemském trhu pasivních součástek k dispozici. Amatérsky lze takový termistor zhotovit tak, že běžný termistor vyhříváme odporovým vinutím na tělese termistoru. Lze ovšem očekávat, že dosažená přesnost měření bude relativně horší.

Podstatného zvětšení přesnosti výsledků při použití popisované metody lze dosáhnout při použití termistorů se dvěma vinutími (žhavicími vláknky). Vznikne tzv. kompenzovalý můstkový měnič podle obr. 59. Jde



Obr. 58. Převodník efektivní hodnoty střídavého napětí na stejnosměrnou úroveň



Obr. 59. Převodník s teplotní kompenzací

vlastně o stejném zapojení, pouze obvod můstku je doplněn zesilovačem s OZ_2 , jenž napájí kompenzační žhavici vláknou termistoru. Kompenzační napájení měniče určuje a udržuje teplotu termistorů na konstantní velikost a tím potlačuje změny odporu v závislosti na změnách střídavého napětí. Z toho důvodu není třeba vybírat termistory na shodnou převodní charakteristiku. Teplotní kompenzace zvětšuje přesnost určení efektivní hodnoty střídavého napětí.

Přesnost teplotních metod určení efektivní hodnoty střídavého napětí (proudů) je široký kmitočtový rozsah měření a malý vliv činitele tvaru měřeného napětí na přesnost

převodu. Nevýhodou je poměrně velká časová konstanta daná teplotním ustálením a malá přetížitelnost měniče.

Tyto a podobné obvody mají svůj význam nejen při pouhém měření, ale i tehdy, když potřebujeme regulovat či ve zpětné vazbě stabilizovat střídavý proud řízený tyristorovými měniči a v řadě dalších aplikací, zejména v regulaci proudů a napětí nesinusových průběhů.

Převodníky napětí-proud a proud-napětí

Převodník proud-napětí

Nejjednodušším převodníkem proud-napětí je vlastně OZ zapojený v základním zapojení jako invertující zesilovač. Je-li neinvertující vstup OZ uzemněn (přímo nebo i přes odpor pro vyrávání proudové nesymetrie OZ) a mezi invertujícím vstupem OZ a jeho výstupem je zpětná vazba přes odpor R , platí pro vztah mezi proudem tekoucím do invertujícího vstupu a výstupním napětím U_3

$$I_1 = \frac{U_3}{R}$$

Jedno z možných a mnoha používaných zapojení lineárních převodníků proud-napětí je na obr. 60. Jde o souměrné zapojení, které dokáže převést vstupní proud $\pm 10 \text{ mA}$ na výstupní napětí $\pm 10 \text{ V}$. Linearity převodu je lepší než $0,1\%$. Obvod převrací fázi, takže výstupní napětí má proti napětí způsobujícímu vstupní proud obrácenou polaritu. Převod je volen tak, že přírůstek 1 mV vstupního proudu odpovídá přírůstek výstupního napětí 1 V . Z toho důvodu všechny odpory, které mají vliv na velikost zesílení (v záporné zpětné vazbě) obou zesilovacích stupňů (tedy R_2 , R_3 a R_5) musí být stálé a vybrané s přesností $0,1\%$.

Převodník napětí-proud

V měřicí a regulační technice je častý opačný případ, kdy potřebujeme dobrý analogový převodník napětí-proud, který má být lineární, případně i ocejchován tak, že celistvá velikost přírůstku vstupního napětí odpovídá celistvá velikost přírůstku výstupního proudu.

Jedno z možných zapojení lineárního převodníku s dobrými vlastnostmi, vhodného pro měřicí účely je na obr. 61. Převodník má linearity přenosu lepší než $0,1\%$, což je linearity, která je asi na mezi možností analogových měřicích metod. Zapojení je určeno pro souměrná vstupní napětí v rozsahu $\pm 10 \text{ V}$, při nichž se výstupní proud mění v rozsahu $\pm 10 \text{ mA}$. Výstupní impedance je lepší než $10 \text{ M}\Omega$. Přenos obvodu je dán vztahem

$$I_{\text{vys}} = \frac{U_1}{R_6}$$

protože zároveň platí

$$I_{\text{vys}} = \frac{(U_1 + U_2) - U_2}{R_6}$$

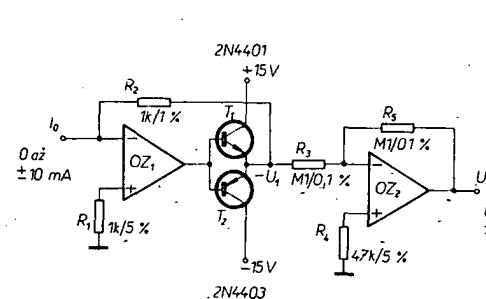
kde U_1 je vstupní napětí a U_2 napětí výstupní.

Na uvedeném vztahu je velmi zajímavá skutečnost, že celkový přenos obvodu je závislý na velikosti jediného odporu R_6 . Změnou tohoto odporu můžeme přímo řídit velikost přenosu.

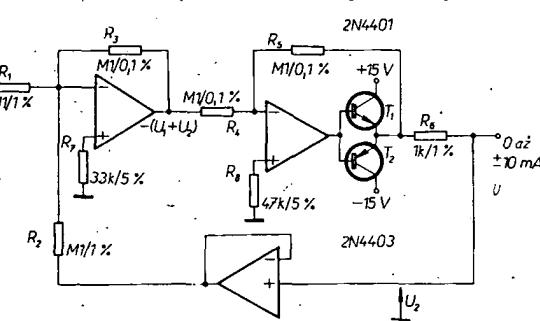
Elektromechanický stabilizátor síťového napětí

Stabilizace a regulace síťového napětí není jednoduchá záležitost. Je pravda, že zavedení tyristorů a triaků se podařilo téměř vytláčit těžké a drahé transduktorové regulátory, ale všechny problémy vyřešeny nebyly. Zvláště se to projevuje v místech s nepravidelným kolísáním napětí, tam kde jde o obzvláště velká zmenšení napětí a kde zároveň potřebujeme výstupní napětí bez rušivých harmonických kmitočtů, tj. sinusové. Dále popisovaný přístroj má mnohé výhody. Lze jej zapojit nejen jako stabilizátor, ale i jako stabilizovaný regulátor síťového napětí 40 až 250 V, dálkově ovládaný zdroj, stabilizátor trifázového napětí tak, že budeme chybět napětí v jedné fázi a spojíme mechanicky tri fáze transformátory na jednu otočnou osu, kterou otáčí jeden motor přes jednu převodovku. Možné je i tri stejná zařízení sdružit tak, aby se chybět napětí vyhodnocovalo v každé fázi, každá fáze měla svůj regulační transformátor. Na výsledné trifázové napětí je možné zapojit spotřebič jak ve hvězdě, tak v trojúhelníku. Je zřejmé, že podle toho, jde-li o stabilizátor nebo regulátor síťového napětí, musíme otočit regulační transformátor. Použijeme-li zařízení jako stabilizátor síťového napětí 120 nebo 220 V, připojíme síťové napětí na výstup jezdce (tak, jak je to na obou schématech, obr. 62 a obr. 63). Používáme-li zařízení jako regulátor se stabilizovaným výstupem, je výhodné zapojit síťové napětí na příslušnou odbočku 120 nebo 220 V a sekundární napětí oděbrat z jezdce regulačního transformátoru. U regulátoru podle obr. 62 je třeba upravit odpory R_1 a R_2 , případně použít Zenerovy diody D_4 a D_5 s menším Zenerovým napětím.

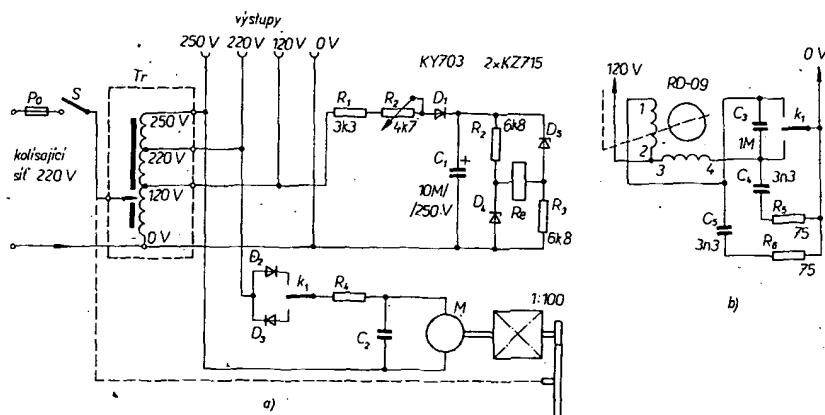
Základní zapojení stabilizátoru síťového napětí je na obr. 62. Stabilizuje napětí 120, 220 a 250 V podle jmenovitých napětí z výstupu (nebo podle původního použití z „vstupu“) regulačního transformátoru Tr . Přenosové zatížení je určeno typem použitého regulačního transformátoru Tr . V tuzemsku existují regulační transformátory typu Křížik, nyní je výrobcem regulačních transformátorů ZPA. Přesnost stabilizace není vysoká, pohybuje se od ± 2 do $\pm 4\%$. Nepřesnost je určena citlivostí použitého polarizovaného



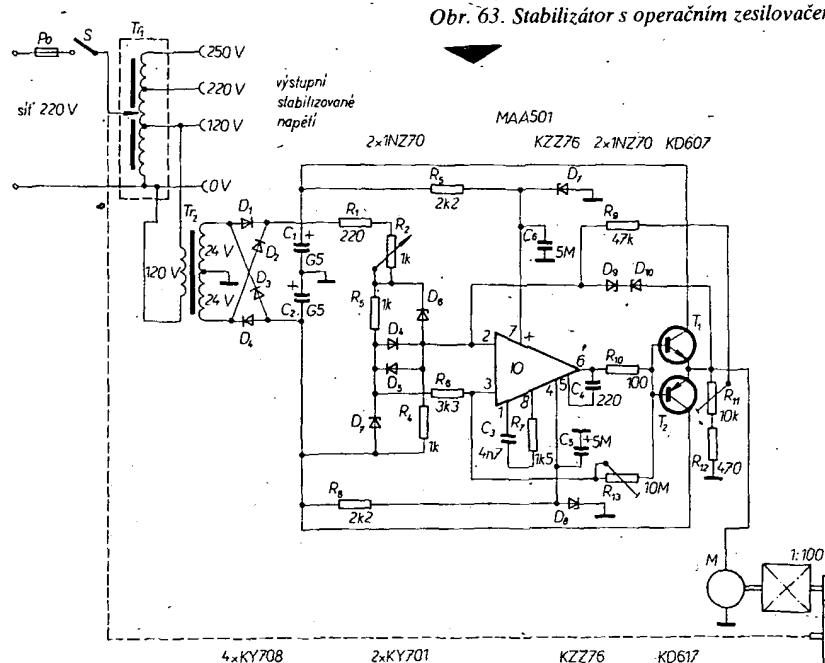
Obr. 60. Převodník I/U



Obr. 61. Převodník U/I



Obr. 62. Elektromechanický stabilizátor síťového napětí; a) se stejnosměrným komutátorovým motorem, b) s reverzačním asynchronním motorem RD 09



relé R_e , v neposlední řadě i jeho hysterezi. Chybové napětí z výstupu 0 a 120 V přes R_1 , R_2 a diodu D_1 nabíjejí kondenzátor C_1 , na kterém je stejnosměrné napětí. Tímto napětím je napájen speciální můstek, složený ze dvou předřadných odporek a dvou Zenerových diod (R_2 , R_3 a D_4 , D_5). Jakmile se napájecí napětí na kondenzátoru zvětší nebo změní, můstek se rozváží. V úhlopříčce můstku je připojeno polarizované relé R_e , které je nesepnuté, je-li můstek vyvážen. Zvětší-li se chybové napětí, relé sepně „na jednu stranu“. Zmenší-li se chybové napětí, je v úhlopříčce můstku napájen opačné polarity a polarizované relé sepně „na druhou stranu“. Polarizované relé spíná kontaktem napájecí napětí, tj. střídavé napětí 30 V přes diodu D_3 či D_4 , omezovací odporník R_4 pro komutátorový stejnosměrný motor. Ten se točí podle polohy polarizovaného relé buď na jednu nebo na druhou stranu. Hřídel motoru pohání převod 1 : 100 hřídel regulačního transformátoru.

Celková funkce je jasná, zmenší-li se chybové napětí, zmenší se napětí na kondenzátoru C_1 . Tím se rozváží můstek, sepně polarizované relé, přes kontakt k_1 se připojí motor, ten se roztočí a tím i otáčí přes převod regulačním transformátorem tak dlouho, dokud se chybové napětí nezvětší na původní

úroveň. Pak se můstek vyváží, v jeho úhlopříčce je nulové napětí. Relé R_e odpadne a motorek se zastaví. Opačně, zvětší-li se chybové napětí, vytvoří se v úhlopříčce můstku opačné napětí, relé sepně „do druhé polohy“, kontakt k_1 připojí druhou diodu a motorek otáčí hřídel regulačního transformátoru Tr opačným směrem do té doby, než opět relé renerozpne.

Můstek složený ze dvou Zenerových diod a předřadných odporek lze rozvážit příčným proudem na obě strany. Proto lze potenciometrem R_2 nastavit úroveň výstupního stabilizovaného napětí. Přesnost výstupního napětí, tedy činitel stabilizace, záleží na citlivosti použitého polarizovaného relé R_e . Bylo použito sovětské relé RPS-5 s citlivostí 0,12 až 0,18 mA. Na obr. 62b je analogické zapojení s jiným motorem, jehož smysl točení lze měnit týmž kontaktem k_1 relé R_e . Jde o reverzibilní asynchronní motor RD-09 sovětské výroby. Funkce je stejná, jako když použijeme stejnosměrný komutátorový motor. Kondenzátory C_4 , C_5 a odpory R_5 , R_6 plní funkci odrušovacích členů, kondenzátor C_3 je funkční k motoru RD-09.

Téměř, pro něž není elektronika problém, je určeno zlepšené zapojení na obr. 63. Zde je nutno použít jako zdroj chybového napětí oddělovací transformátor Tr 120 V/2 × 24 V; 6 A, který je připojen na výstupní stabilizované napětí. Mezi schématem na obr. 62 a obr. 63 je zřejmá analogie. Chybové napětí, úměrně změněný síťového

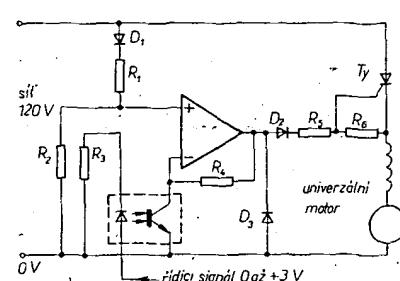
napětí, se objeví po usměrnění na kondenzátorech C_1 a C_2 . Odtud je přes R_1 a R_2 napájen stejný můstek, složený ze dvou Zenerových diod D_4 a D_7 s předřadnými odpory R_3 a R_4 . Můstek lze rozvážovat příčným proudem, který se mění potenciometrem R_1 – takže ten slouží pro nastavení výstupního napětí. V úhlopříčce můstku jsou oba vstupy operačního zesilovače MAA502. R_6 je pouze omezovací ochranný odpor a obě antiparalelně zapojené křemíkové diody D_4 a D_5 typu KY701 ochraňují vstupy operačního zesilovače před zničením, objeví-li se v úhlopříčce můstku velké napětí. R_8 , D_8 a R_5 , D_7 jsou stabilizační členy pro napájení zesilovače. Zesilovač má zápornou zpětnou vazbu přes R_9 , R_{11} a R_{12} , kterou lze optimalizovat trimrem R_{11} . Na výstupu operačního zesilovače jsou připojeny tranzistory T_1 a T_2 , k jejichž emitorům je připojen kolektorový stejnosměrný motor 24 V. Motor se točí buď na jednu nebo na druhou stranu podle toho, je-li v úhlopříčce můstku napětí kladné či záporné. Proto, aby motor „nekmital“ při častých změnách polarity napětí v úhlopříčce můstku, má zesilovač zavedenou umělou hysterezi, která mu dává vlastnosti podobné vlastnostem polarizovaného relé.

Přes odporník R_{13} se zavede na vstup 3 zesilovače kladná zpětná vazba, která způsobí, že k zpětnému překlopení je třeba poněkud jiné napětí na vstupu 3, než bylo to, které způsobilo na výstupu změnu z kladného napětí na záporné a naopak.

Mechanická část stabilizátoru je stejná jako v předchozím případě, zájemce je možné odkázat na popis podobného zařízení v RADIU (SSSR), č. 6/1969 (Elektromechanický stabilizátor, autoři Apinjan a Koleskov). Závěrem lze pouze podotknout, že složitější zařízení s operačním zesilovačem má asi 2 × lepší stabilizační účinky. Přesnost výstupního napětí je ± 1 až $\pm 2\%$, regulace je bezkontaktní a měla by být spolehlivější.

Zdroj signálu s OZ pro řízení tyristoru

Na obr. 64 je zdroj fázově posouvatelných impulsů pro tyristorovou regulaci nebo ovládání. Na zapojení je zajímavé zejména to, že ačkoli spouštěcí impulsy do tyristoru jsou fázově posouvány v závislosti na stejnosměrném řídicím výstupním napětí, neobsahuje zapojení jako zpožďovací členy kondenzátory. Fázové zpoždění vzniká tím, že se povrchná půlperioda střídavého řízeného napětí, přivedená na neinvertující výstup OZ, se stejnosměrným řídicím signálem, který je získáván z optoelektronického členu, a přiváděn na invertující výstup OZ. Fázové zpoždění výstupního signálu vznikne proto, že se na výstupu OZ objeví kladný výstupní signál až v době, když střídavé napětí na neinvertujícím výstupu OZ bude větší než stejnosměrné, určené řídicím výstupním napětím na invertujícím výstupu OZ. Dělici D_1 a R_1 , R_2 určuje velikost jednocestné usměrněného impulsního napětí na neinvertujícím výstupu OZ.



Obr. 64. Zdroj pro řízení tyristorů s OZ

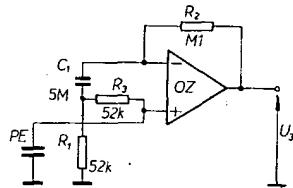
Výhodou celého zapojení je to, že optoelektrický člen zajišťuje galvanické oddělení řídicího vstupního stejnosměrného signálu 0 až 3 V od síťové části a silových členů.

Odpor R_1 tvoří spolu s optoelektrickým členem zápornou zpětnou vazbu. Diody D_2 a D_3 zajišťují, aby se na řídící elektrodu tyristoru nedostalo náhodné záporné napětí. D_1 až D_4 jsou křemíkové usměrňovací diody běžného typu (v originálu všechny 1N2070).

Pro nás je nepříjemné, že použitý optoelektrický člen H11F2 (GE) nemá tuzemský ekvivalent. OZ lze nahradit naším MAA741. Při napájení střídavým napětím 120 V se používají tyto pasivní součástky: $R_1 = 2,5 \text{ M}\Omega$, $R_2 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 50 \text{ }\Omega$ a $R_6 = 1 \text{ k}\Omega$. Na obr. 64 je regulován běžný univerzální motorek s kolektorem, obecně může být místo něho zapojena i jiná odporná zátěž.

Připojení piezoelektrického členu k OZ

OZ je obvykle výhodný i jako oddělovací člen i první stupeň dalšího zpracování signálu z piezoelektrického členu (obr. 65). Ve



Obr. 65. Připojení piezoelektrického členu s OZ

schématu na obr. 65 je jedno z možných zapojení, v němž je piezoelektrický člen připojen k neinvertujícímu vstupu OZ.

Při použití OZ typu μA702 je piezoelektrický člen zatěžován impedancí větší než $5 \text{ M}\Omega$. Zesílení celého stupně je

$$A = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

odpor R_3 lze určit z přibližného vztahu $R_3 = R_2 - R_1$.

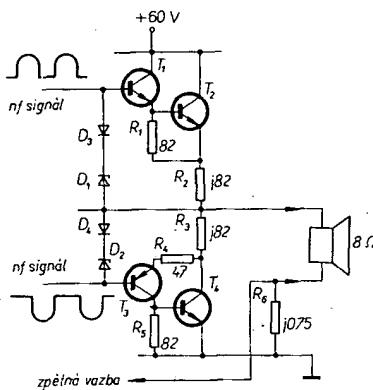
Nf technika

Ochrana koncového stupně nízkofrekvenčního zesilovače

Výkonové tranzistory koncových stupňů nízkofrekvenčních zesilovačů jsou velmi náchylné k destrukci. Obvykle pracují v mezních podmínkách, s velkým výkonom do zářeží jako jsou reproduktové soustavy. Mnohdy i při opatrnosti se může výstup náhodně přetížit nebo zkratovat, což bez omezení výstupního proudu vede k destrukci obvykle pouze koncových výkonových tranzistorů, které jsou neustále poměrně drahou částí zesilovače.

Ochrana tavnou pojistkou je málo účinná, neboť výkonový tranzistor se zničí již přvním proudovým impulsom, který tavnou pojistku „nepřepálí“. V silnoprudé elektrotechnice se sice pro ochranu tyristorů velkých výkonů konstruují speciální rychlotavitelné pojistky, které reagují tak rychle, že spolehlivě chrání polovodičový přechod výkonového tranzistoru, ale dosud se nepodařilo vyvinout podobné tavné pojistky pro proudy mezi 5 až 20 A.

Ochrana spočívající v konstrukci napájecího zdroje, který je třeba navrhnut tak, aby nebyl schopen dát do plně otevřených tranzistorů větší proud než povolený, není také uspokojivá.

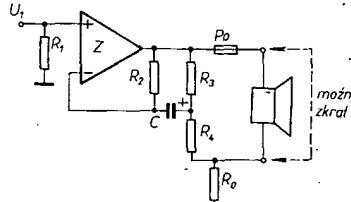


Obr. 66. Ochrana proti přebuzení Zenerovými diodami

Proud koncových tranzistorů lze jednoduše omezit malým odporem nebo elektronickou pojistkou. Omezení pouhým odporem je pro dokonalejší typy zesilovačů nevhodné. Proudové omezení elektronickou pojistkou se používá dosti často, pojistka musí být ovšem dostatečně „rychlá“. Mimo uvedené způsoby se používá celá řada různých ochran, z nichž některé si ukážeme.

Jedním z velmi jednoduchých způsobů je chránit koncový stupeň pouze proti přebuzení a to omezením napětí na vstupech koncového stupně. Tato ochrana pracuje i při krátkodobém zkratu nebo přetížení na výstupu. Jedno z možných zapojení je na obr. 66, kde je část jednoho kanálu nf zesilovače firmy Fischer typu TX - 1000. V bázích tranzistorů koncového stupně jsou připojeny Zenerovy diody D_1 a D_2 , které nedovolí, aby se tyto tranzistory zcela otevřely vstupním signálem. V našem konkrétním zapojení mají diody Zenerovo napětí $U_Z = 6 \text{ V}$. Protože k plnému otevření tranzistoru je třeba větší napětí než 6 V , nemohou se koncové tranzistory T_1 až T_4 nikdy dostat až do saturace. Nevýhodou ovšem je, že zesilovač musí mít jistou rezervu ve výkonu.

Technicky zajímavý je způsob, který se někdy nazývá „ochrana zesilovače s oddělenou střídavou a stejnosměrnou zpětnou vazbou“. Schéma je na obr. 67. Podstatnou výhodou je to, že se po zkratu na výstupu přepálí tavná



Obr. 67. Ochrana zesilovače „oddělenou“ střídavou a stejnosměrnou zpětnou vazbou

pojistka, což upozorní obsluhu na závadu. Trojúhelník Z v našem případě nepředstavuje OZ, ale kompletní koncový stupeň nf zesilovače. Jeho stejnosměrné zesílení je dáno zápornou zpětnou vazbou.

$$A_{ss} = \frac{R_2}{R_1}$$

Má-li kondenzátor C tak velkou kapacitu, abychom při nf kmitočtu mohli jeho impedanci zanedbat, platí pro střídavé zesílení celého stupně

$$A_{sl} = \frac{R_2 + R_4}{R_4}$$

$$I_{ZK} = \frac{U_1}{R_0}$$

Vznikne-li na výstupu v místě, do něhož se připojuje reproduktor zkrat, spojí se R_3 a R_4

parallelně, takže při zkratu je střídavé zesílení

$$A_{sl} = 1.$$

Je-li zesílení celého stupně $A_{sl} = 1$, je na výstupu zesilovače Z výstupní napětí rovnou napětí vstupnímu, tedy napětí U_1 . Zkratovým obvodem a tedy i koncovými tranzistory zesilovače Z pak teče zkratový proud

$$I_{ZK} = \frac{U_1}{R_0},$$

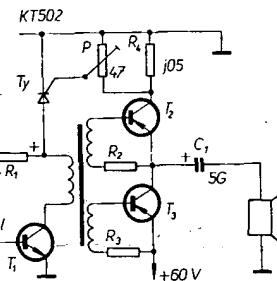
který musí být rovný nebo menší než dovolený proud koncových tranzistorů. Pojistku Po proto volíme tak, aby ji trvalý proud I_{ZK} přepálil.

Výhodou této ochrany je zejména skutečnost, že běžná tavná pojistka Po se při náhodném krátkodobém zkratu nepreruší, přitom jsou však výstupní tranzistory chráněny. Při trvalém zkratu se pojistka přeruší, což signalizuje závadu, kterou musíme odstranit. Nevýhodou je jistá ztráta výkonu, která vzniká na odporech „ochrany“, tj. na R_2 až R_4 a odporu R_0 .

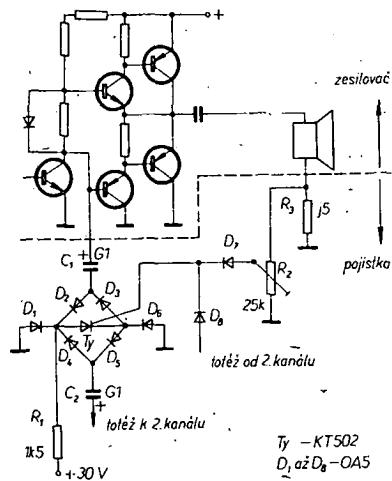
Tyristorové pojistky

Tyristorové pojistky sloužící k ochraně tranzistorů výkonových stupňů nf zesilovačů pracují obvykle takto: ve větví výstupního proudu ze zesilovače je připojen sériový člen (obvykle pouze odpor), na kterém vzniká úbytek napětí úměrný výstupnímu proudu. Jakmile úbytek napětí na sériovém členu dosáhne nastavené velikosti, otevře se tyristor a zkratuje buď budící signál koncového stupně, nebo přes omezovací odpor jeho napájecího napětí. Po sepnutí této pojistky se činnost zesilovače obnovuje tak, že jej vypneme a po několika sekundách znovu zapne. Společnou nejnáviditelností těchto pojistek je skutečnost, že tyristor je obecně pomalejší než tranzistor a vybavovací doba, tedy doba, kdy pojistka začne reagovat, je obvykle delší, než by v některých případech bylo potřeba. Vybavovací doba může být někdy až řádu ms a nevzniká tedy žádná časová rezerva – pojistka sice pracuje, ale její vybavovací doba je stejněho řádu jako doba, za kterou dochází k destrukci výkonových tranzistorů koncového stupně. Nicméně se tyto pojistky hojně používají, a to zejména pro jejich jednoduchost. Uvedený nedostatek se odstraňuje např. tím, že se lavinovitému zvětšování zkratového proudu tranzistorů zabráníme omezovacím odporem, který zároveň slouží jako prostředek k ziskání chyběvšího signálu pro pojistku.

Jedno z nejjednodušších zapojení tyristorové pojistky je na obr. 68. Na malém sériovém odporu R_4 , vzniká „chybový“ napětí. Bude-li proud koncového tranzistoru T_2 větší, než je zvolený (zastavuje se odpovídající trimrem P), otevře se tyristor a zkratuje budící napětí celého stupně tak, že vyřadí z činnosti tranzistor T_1 .



Obr. 68. Tyristorová pojistka



Obr. 69. Jiná tyristorová pojistka

Při návrhu pojistky si je nutno uvědomit, že minimální spínací kladné napětí (na běžci trimru P), které má sepnout tyristor, musí být asi +0,8 V. Zároveň je nutno brát v úvahu i to, že tyristor sepne až tehdy, až se zvětší emitorový proud tranzistoru T₂. Pokud porucha nastala při průchodu proudu tranzistorem T₃, pojistka „čeká“ až dojde k poruše v jištěné věti. Po sepnutí pojistky je samozřejmě chráněn i tranzistor T₃. Tyristor v souladu s tím, co jsme si řekli obecně o tyristorových pojistkách koncových stupňů nf zosilovače, bude uveden do nevodivého stavu až když se napětí +30 V, napájecí tranzistor T₁, zmenší na nulu, což se obvykle zajistí vypnutím celého zosilovače.

Složitější typ tyristorové pojistky, která pracuje současně pro oba kanály stereofonního nf zosilovače, je na obr. 69. Vzhledem k tomu, co jsme si uvedli o tyristorových pojistkách, není třeba činnost tohoto zapojení složitě popisovat. Snad jen to, že pojistka pracuje jen pro střídavý signál, takže jakmile zmizí příčina zvětšeného proudu odporem R₃, tyristor Ty bude samočinně uveden do nevodivého stavu. Ss proud, při němž tyristor zkratuje budící signál koncových tranzistorů na zem, lze přesně nastavit odporovými trimry v každém kanálu zosilovače. V obr. 69 je to trimr R₂. Při poruše signálu v jednom kanálu vyzkratuje se budící signál v obou kanálech stereofonního zosilovače.

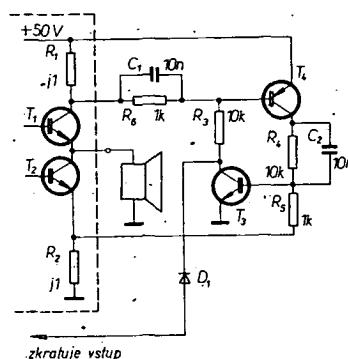
Tranzistorové pojistky

Jednoduchá pojistka pro ochranu koncového stupně výkonového stupně nf zosilovače s tranzistorem, který spíná kolektorový

proud tranzistoru na vstupu koncového stupně a tím odpojuje buzení koncového stupně nf signálem, je na obr. 70. Předností této pojistky je to, že v obvodu výstupního signálu není zařazen žádný pasivní odpor, na němž by vznikala výkonová ztráta. Uroveň sepnutí, při níž se otevře tranzistor T₁, se nastavuje odporovým trimrem P. Zjevnou nevýhodou uvedeného zapojení je skutečnost, že na článku z C₁R₁C₂R₂ vzniká poměrně značné časové zpoždění signálu. Pojistku tohoto typu užívala u některých starších typů svých komerčních výkonových tranzistorových nf zosilovačů firma Hitachi.

Jednoduchá a účinná tranzistorová pojistka koncového stupně je na obr. 71. T₁ a T₂ jsou chráněné tranzistory koncového stupně, vlastní pojistka tvoří obvod tranzistorů T₃, T₄. Chyběvou napětí vzniká na odporech R₁ a R₂ a zavádí se do bází obou tranzistorů souměrně přes odpory R₅ a R₆. Pojistka nemá žádnou regulaci. „Hlídáný“ proud je dán odpory R₁ a R₂ a omezovacími odpory R₅ a R₆.

Další typ velmi rychlé tranzistorové pojistky, která je použita v komerčním zosilovači CAMBRIDGE P40, je na obr. 72. Obvod pojistky tvoří tranzistory T₁, T₈ a T₇ a příslušné pasivní součástky (ve schématu na obr. 72 jsou jejich hodnoty). Na rozdíl od relativně „pomalých“ tyristorových pojistek má tato pojistka vybavovací dobu mnohemkrát kratší, rádu μ s. Tranzistory T₈ a T₇ tvoří bistabilní klopový obvod, který se překlopí, jakmile se na R₅ zvětší úbytek napětí tak, aby se přes R₆ otevřel tranzistor T₈. Jakmile se překlopí bistabilní obvod tak, že se emitor T₁ připojí na napájecí napětí -60 V a T₁, otevře se a zkratuje je signál na bázích tranzistorů T₄ a T₃. Do výchozí polohy se obvod T₈ a T₇ dostane až po vypnutí a zapnutí zosilovače (tj. napájecího napětí -60 V).



Obr. 71. Tranzistorová pojistka

Číslicové obvody

Monostabilní klopné obvody

Tyto obvody generují v závislosti na vstupním signálu - impuls definovaného tvaru. Vstupním signálem je v číslicových obvodech změna logické úrovně. Některé monostabilní klopné obvody využívají zpoždění průchodu signálu logickými členy, jiné využívají vnějších pasivních prvků, nebo prvků zhotovených v tuhé fázi uvnitř integrovaného obvodu.

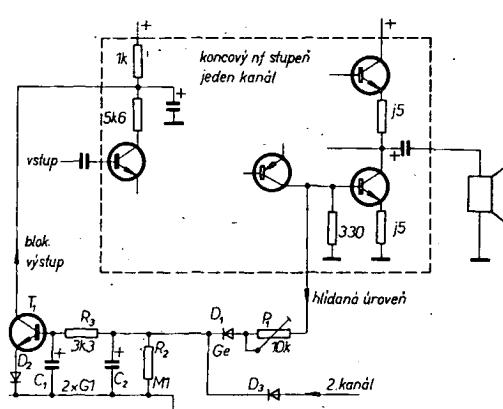
Na obr. 73a je monostabilní klopový obvod, který s náběžnou hranou vstupního impulsu generuje krátký impuls o šířce určené zpožděním signálu v hradlech NAND. Obvod je schopen pouze zmenšovat dobu trvání vstupního impulsu. Pokud je doba trvání vstupního impulsu kratší než doba průchodu logického signálu třemi hradly NAND, bude i výstupní impuls kratší.

Na obr. 73b je jiné zapojení monostabilního obvodu. Tento obvod má při stejném počtu hradel ještě k dispozici i negovaný výstupní impuls. Také u tohoto obvodu vstupní impuls krátký, než je doba zpoždění v hradlech 2, 3 a 1, má za následek zkrácení doby trvání výstupního impulsu. Obě zapojení lze upravit prodloužením řetězce logických členů pro větší šířku výstupních impulsů. Zapojení lze upravit tak, že zapojíme za obvody označené 2 sudý počet hradel. Při použití integrovaných obvodů MH7404 a MH7404 je doba zpoždění signálu v každém členu asi 15 ns.

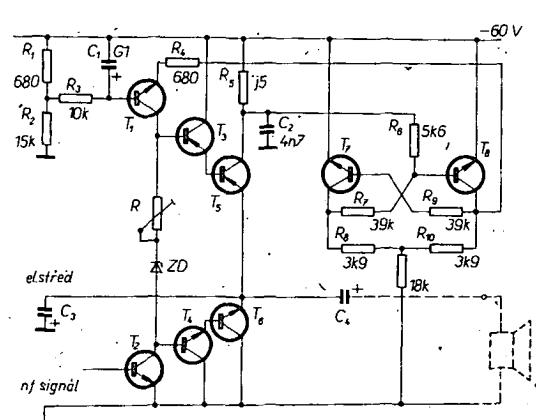
Požadujeme-li dlouhou dobu trvání výstupního impulsu, je hospodárnější použít pasivní členy R a C. Na obr. 73c je monostabilní obvod pro zkracování impulsu, který se skládá pouze ze dvou invertorů. Reaguje na sestupnou hranu vstupního impulsu. Odpor musí být menší než 470 Ω . Doba trvání výstupního impulsu je přibližně určena součinem RC .

Obvod, který obsahuje dvoustupňové hradlo NAND, zamezuje dalšímu vlivu vstupního impulsu vazbou z výstupu na vstup. Šířka výstupního impulsu tedy nezávisí na délce vstupního impulsu. Obvod je na obr. 73d. Lze jej použít ke zkracování i prodlužování doby trvání výstupního impulsu. Tato doba je opět určena součinem RC . Vliv teploty na citlivost hradel, která délku impulsu ovlivňuje, je kompenzována křemíkovou diodou. Negátor na výstupu zlepšuje strmost sestupné hrany výstupního impulsu.

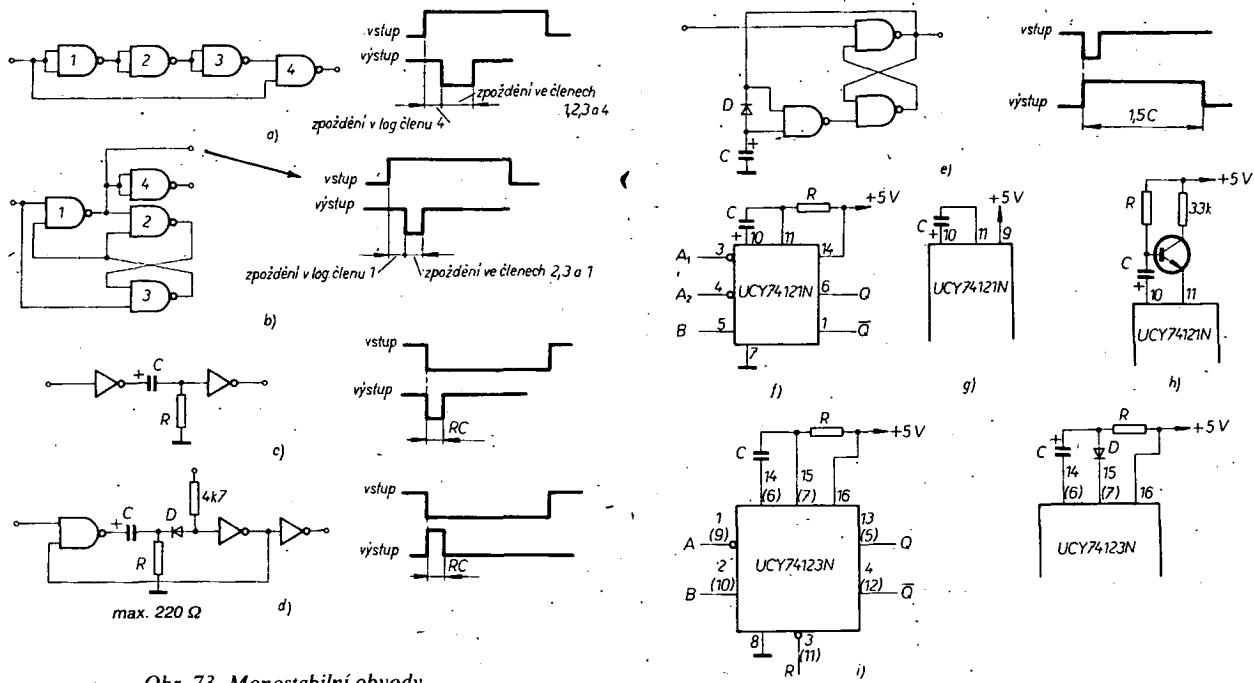
Obvod vhodný pouze k prodlužování impulsu je na obr. 73e. Využívá se klopového obvodu R-S, který zajistuje dobrou strmost hran výstupního impulsu. Signál log. 0 na vstupu překlopí klopový obvod a kondenzátor se počne nabíjet proudem tekoucím vnitřním



Obr. 70. Jednoduchá tranzistorová pojistka



Obr. 72. Tranzistorová pojistka s bistabilním klopovým obvodem



Obr. 73. Monostabilní obvody

odporem hradla. Po nabití kondenzátoru na napětí odpovídající úrovni log. 1 překlopí klopny obvod zpět a kondenzátor se ihned vybije v obvodu diody a výstupu horního hradla. Obvod je schopen ihned přijmout další impuls.

Pro úpravy impulsů jsou vyráběny speciální integrované obvody UCY74121N a UCY74123N.

Obvod UCY74121N je monostabilní multivibrátor s mnohostranným použitím; kromě jiného je v něm kompenzován teplotní vliv na šířku výstupních impulsů. Odchylka je $\pm 0,5\%$ v rozsahu doporučených pracovních podmínek. Vliv teploty na obvod je tedy určen pouze vlastnostmi vnějších pasivních prvků. Na obr. 73f je zapojení monostabilního obvodu. Odpor R je možno volit v rozsahu $2,2\text{ k}\Omega$ až $40\text{ k}\Omega$ a kondenzátor C v rozsahu 10 pF až $1000\text{ }\mu\text{F}$. Šířku výstupních impulsů lze téměř prvky nastavit v rozsahu 40 ns až 40 s . V obvodu lze též využít vnitřního odporu $2\text{ k}\Omega$ tím, že propojíme vývod 9 s napětím $+5\text{ V}$ na vývodu 14. Tím odpadne nutnost použít vnější odpor R (obr. 73g).

Klopny obvod startujeme sestupnou hranou vstupního signálu logické úrovni na vstup A_1 nebo A_2 . Vstup B musí přitom být na úrovni log. 1. Jinou možností je startovat klopny obvod náběžnou hranou vstupního impulsu do vstupu B , přičemž vstupy A_1 nebo A_2 jsou na úrovni log. 0.

Při šířkách výstupních impulsů větších než $0,5\text{ s}$ je nutno používat obvykle elektrolytické kondenzátory; jejich elektrické vlastnosti neumožňují dobrou opakovatelnost šířky impulsů (vlivem je např. těpelná závislost kapacity, stárnutí a doby, potřebné k formování kondenzátorů). Zapojením podle obr. 73h lze zvětšit nabíjecí odpory až na $1\text{ M}\Omega$ a tím zmenšit kapacitu kondenzátoru. Podmínka pro vnější odpor na vstupu 11 je díky impedančnímu přizpůsobení v tranzistoru zachována. Šířka výstupního impulsu je určena vztahem

$$t = 0,7RC$$

Obvod UCY74123N obsahuje dvojici monostabilních spoušťových multivibrátorů s možností nulování. Připojením log. 0 na vstup nulování je možno generovaný impuls zkrátit. Obvod je rovněž teplotně kompenzován a má pouze dva ovládající vstupy A a B . Výstupní impuls lze startovat takto:

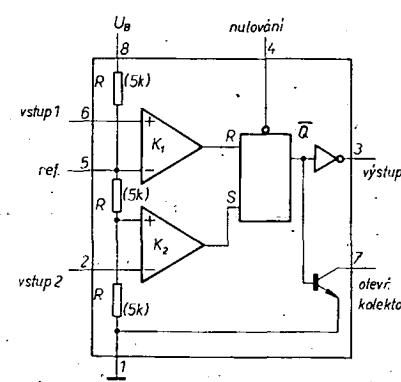
a) je-li na obou vstupech log. 0 a vstup A přejde do stavu log. 1,

b) jsou-li na obou vstupech log. 1 a vstup B přejde do stavu log. 0.

Dojde-li u tohoto obvodu k jednomu z uvedených stavů znova během generování výstupního impulsu, je výstupní impuls, který je určen vnějšími členy R a C , znova generován – tím se výstupní impuls prodlužuje.

Vnější prvky se připojují podle obr. 73i. Pokud je kapacita kondenzátoru větší než 1000 pF , nebo je-li použit elektrolytický kondenzátor, zapojuje se do vnějších obvodů dioda D podle obr. 73j.

Pro úpravu impulsu lze použít také univerzální časovací obvod 555 (např. NE555). Vnitřní uspořádání tohoto integrovaného obvodu je v obr. 74; obvod má celkem 8 vývodů. Mezi vývody 8 a 1 jsou v sérii zapojeny tři stejné odpory $5\text{ k}\Omega$. Tyto odpory tvoří napěťový dělič mezi napájecími vývody. Napájecí napětí U_B tak vytváří referenční napětí $1/3 U_B$ a $2/3 U_B$, která jsou připojena ke vstupům komparátorů K_1 a K_2 . Napětí $1/3 U_B$ se přivádí na neinvertující vstup K_2 a napětí $2/3 U_B$ na invertující vstup K_1 . Druhé dva vstupy komparátorů jsou z IO vyvedeny (vývody 2 a 5). Na oba komparátoru navazuje klopny obvod R-S, který upravuje strmost obou hran výstupního impulsu. Klopny obvod R-S lze využít logickým signálem nulovat. K tomu slouží vývod 4. Uroveň log. 0 na tomto vývodu nastaví klopny obvod tak, že výstup \bar{Q} je na úrovni log. 1. Propojí-li se vývod 4 s vývodem 8, tj. s napájecím napětím U_B , neovlivňuje tento vstup činnost obvodu.



Obr. 74. Obvod 555 – vnitřní uspořádání

Když je napětí na neinvertujícím vývodu prvního komparátoru (K_1) větší než $2/3 U_B$, překlopí vývod z komparátoru klopny obvod R-S stejně jako při nulování. Na klopny obvod navazuje negátor, jehož výstup lze zatížit proudem až 200 mA na vývodu 3. Strmost hran výstupního impulsu je přitom lepší než 100 ns .

Když je napětí na vývodu 2 menší než $1/3 U_B$, nastaví se výstup 3 na úrovni log. 1. Při napájecím napětí U_B rovném 5 V lze výstupní impulsy navázat na logické obvody TTL.

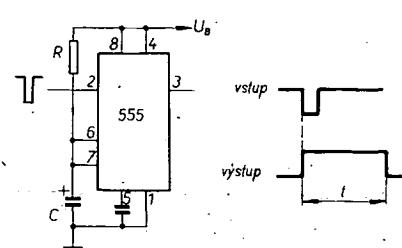
Vývod 7 lze použít jako výstup s otevřeným kolektorem, který má souhlasnou logickou úroveň s výstupem na vývodu 3.

Z obvodu je dálé vyvedeno referenční napětí K_1 , tj. napětí $2/3 U_B$. Pokud využíváme k odvození referenčních napětí napájecího napětí U_B , připojíme k tomuto vývodu filtrační kondenzátor. K tomuto vývodu lze připojit vnější referenční napětí se stabilitou lepší, než má napájecí napětí. Tímto napětím ovlivníme i referenční napětí komparátoru K_2 , které bude mít poloviční velikost.

V zapojení IO typu 555 jako monostabilní obvod (obr. 75) určuje dobu trvání výstupního impulsu výraz

$$t = 1,1RC$$

V klidovém stavu je tranzistor uvnitř IO v sepnutém stavu a protože je připojen ke kondenzátoru C , je tento kondenzátor vybitý. Výstupní napětí na výstupu 3 je na úrovni log. 0. Obvod nastartujeme impulsem na

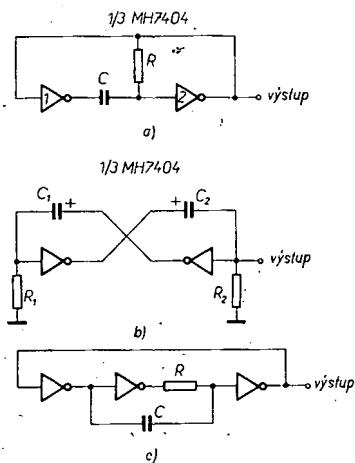


Obr. 75. Monostabilní obvod s použitím IO typu 555

vstupu 2, jehož amplituda bude při přechodu z úrovně log. 1 na úroveň log. 0 menší než $1/3 U_B$. Při zmenšení vstupního napětí pod tuto velikost se výstup nastaví na úroveň log. 1. Nyní je vnitřní tranzistor v nevodivém stavu a kondenzátor se začne nabíjet proudem, který protéká odporem R . Když je napětí na kondenzátoru (vstup 6) větší než $2/3 U_B$, klopný obvod se překlopí zpět a na výstupu je úroveň log. 0. Tranzistor současně vybije kondenzátor C a obvod je připraven pro další impuls. Kondenzátor mezi vývodom 5 a záporným polem zdroje filtry referenční napětí.

Astabilní klopné obvody a generátory impulsů

Astabilní klopné obvody vytvářejí sled impulsů definovaného tvaru. Zpětná vazba určuje kmitočet těchto impulsů. Nejjednodušší astabilní obvod, který využívá dvou negátorů TTL, je na obr. 79. Kondenzátor C se nabíjí (případně vybije) proudem tekoucím odporem R na úrovni logického stavu,



Obr. 76. Jednoduché astabilní obvody

který je na výstupu z negátoru 2. Když se toto napětí rovná mezní logické úrovni, změní oba negátoru svůj stav a kondenzátor se opět vybije (popř. nabije) na úroveň výstupu negátoru 2. Děj se trvale, opakuje. Velikost odporu R je nutno volit asi 220Ω . Doba nabíjení a vybíjení kondenzátoru je přibližně určena součinem $2RC$. Kmitočet výstupních impulsů se střídou $1:1$ je

$$f = \frac{1}{4RC}$$

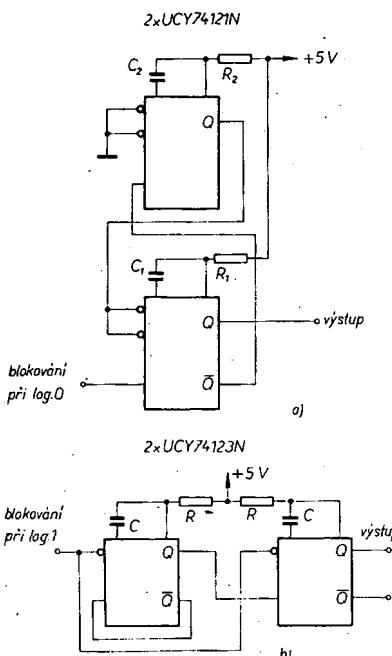
Jiné zapojení podle obr. 76b je symetrický astabilní obvod. Obvod pracuje v širokém rozsahu kmitočtů, neboť zapojení umožňuje použít elektrolytické kondenzátory. V praxi lze obvodu využít pro rozsah kmitočtů $0,1 \text{ Hz}$ až 10 MHz . Velikost odporů R_1 a R_2 musí být v mezi 1 až $5 \text{ k}\Omega$. Kmitočet vstupního signálu určuje přibližný vztah

$$f = \frac{1}{2RC}$$

V obou zapojených kmitočtů značně závisí na napájecím napětí a teplotě okolí.

Na obr. 76c je nesouměrný astabilní klopný obvod, využívající tří negátorů. Kmitočet výstupního signálu je přibližně opět

$$f = \frac{1}{2RC}$$



Obr. 77. Generátory impulsů s integrovanými obvody UCY74121N a UCY74123N

Obvod není vhodný pro nízké kmitočty, ale naopak ho lze při malých R a C využívat pro kmitočty vyšší než 10 MHz .

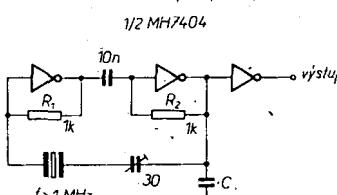
Zavedením vhodné zpětné vazby lze ve funkci generátorů impulsů použít i integrované monostabilní multivibrátory typu UCY74121N a UCY74123N. Vzhledem k teplotní kompenzaci je lze použít v náročnějších aplikacích (s požadovanou přesností kmitočtu až 1 %).

Na obr. 77a je zapojení generátoru impulsů, který lze blokovat vnější logickou úrovní, využívající dvou obvodů UCY74121N. Kmitočet tohoto generátoru je určen vztahem

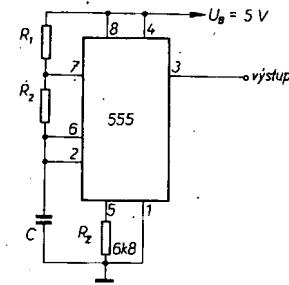
$$f = \frac{1}{0,7(R_1C_1 + R_2C_2)}$$

Na obr. 77b je zapojení generátoru impulsů s dvojicí monostabilních multivibrátorů v jediném pouzdře, UCY74123N. Odpor R volíme v rozmezí 5 až $50 \text{ k}\Omega$, kapacitu kondenzátorů 100 pF až $1000 \mu\text{F}$. Kmitočet obvodu lze volbou kondenzátorů a odporek nastavit v rozmezí $0,1 \text{ Hz}$ až 5 MHz . Pro použití kondenzátorů a pro dobu trvání impulsu v závislosti na volbě R a C platí stejná pravidla, jaká byla uvedena u monostabilních obvodů s tímto IO. Impulsy prvního monostabilního obvodu se po uplynutí doby určené vnějšími pasivními prvky ihned znovu startují. Protože je jejich šířka asi 20 ns, což nevyhovuje katalogovým údajům číslicových obvodů TTL, jsou v druhém obvodu upraveny obvodem se stejnými odpory a kondenzátory na impulsy se střídou $1:1$. Obvod lze opět blokovat vnějšími logickými signály.

Pro generování kmitočtů s větší přesností, např. pro měřicí účely, je nutno používat krystalem řízené generátory impulsů. Na obr. 78 je zapojení generátoru, využívajícího tří negátorů TTL typu MH7404. Obvod je vhodný pro krystaly s kmitočtem vyšším než 1 MHz . Pro nižší kmitočty je nutno použít



Obr. 78. Generátor impulsů s krystalem



Obr. 79. Astabilní klopný obvod s IO typu 555

místo odporu R_1 cívku s indukčností asi 10 mH , avšak z hlediska spolehlivosti je lépe použít tranzistorové oscilátory. Třetí negátor odděluje obvod krystalu od následujících obvodů a tak zlepšuje stabilitu kmitočtu. Kondenzátor C zlepšuje vlastnosti obvodu a volí se přibližně 300 pF pro kmitočet 2 MHz . Pro kmitočet 5 MHz má kapacitu asi 120 pF . Pro kmitočty vyšší ho lze vyněchat.

Univerzální časovací obvod typu 555 lze použít také jako generátor impulsů. Schéma zapojení je na obr. 79. Kmitočet výstupních impulsů je určen členy R_1 , R_2 a C . Napětí na kondenzátoru C je připojeno k oběma komparátorům (obr. 79) obvodu 555 paralelně. Když je toto napětí větší než je referenční napětí komparátoru K_1 , vytvoří se na výstupu 3 úroveň log. 0. Tranzistor na výstupu 7 je sepnut a kondenzátor C se počne vybije proudem tekoucím odporem R_2 . Vybiejí-li se kondenzátor pod úroveň referenčního napěti K_2 , překlopí se klopný obvod R-S, výstup 3 změní logickou úroveň a vnitřní tranzistor se uvede do nevodivého stavu. Kondenzátor C se počne opět nabíjet a tento děj se trvale opakuje.

Požadujeme-li, aby obvod generoval impulsy se střídou $1:1$, tj. aby se kondenzátor stejnou dobou nabíjel i vybíjel, je nutno doplnit obvod odporem $R_2 = 7 \text{ k}\Omega$ a R_1 volit stejně velký jako R_2 . Pro kmitočet platí vztah

$$f = \frac{0,72}{R_1 C}$$

pro $R_1 = R_2$.

Nahrádime-li odpor v obr. 79 filtračním kondenzátorem a nedodržíme-li podmíinku $R_1 = R_2$, bude střída výstupních impulsů záviset na velikosti a poměru obou odporek. Nabíjecí čas t_n bude přibližně určen vztahem

$$t_n = 0,64(R_1 + R_2)C$$

a vybíjecí čas

$$t_v = 0,64R_2C$$

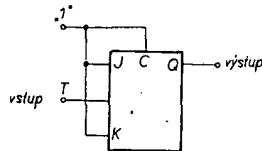
Pro kmitočet bude platit vztah

$$f = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

Děliče kmitočtu a čítače

Děliče kmitočtu a čítače patří mezi základní obvody číslicové techniky. Uspořádáním se obvykle příliš od sebe neliší a také použité číslicové integrované obvody bývají stejné. Hlavní rozdíl je v jejich použití a připojení navazujících obvodů.

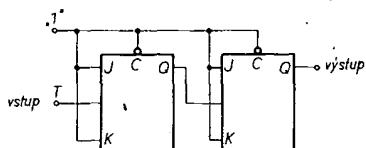
Děliče kmitočtu mají za úkol vytvářet výstupní impulsy o kmitočtu několikanásobně nižším, než je kmitočet vstupních impulsů. Dělí tak kmitočet určitým celým číslem, tzv. dělicím poměrem. Jejich použití v číslicové technice je velmi rozmanité. Jako příklad uvedeme získávání časových impulsů, kdy



Obr. 80. Dělič kmitočtu s dělicím poměrem 1:2

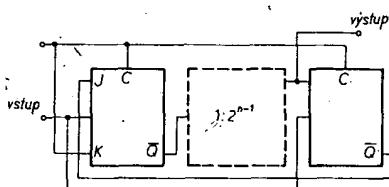
postupným dělením kmitočtu krystalu (řádu několika MHz) získáváme sekundové, minutové a hodinové impulsy. Používáme-li v tomto případě obvody dělící také k indikaci okamžitých hodnot, jako je tomu u digitálních hodin, můžeme obvod považovat sou-

Nejjednodušší zapojení děliče kmitočtu s dělícím poměrem $1:2$ je na obr. 80. Zapojení využívá klopného obvodu J-K, lze použít např. integrovaný obvod MH7472. Dělič kmitočtu s dělícím poměrem $1:4$ je na obr. 81 (UCY7473N). Podobným způsobem lze rozšiřovat použití klopných obvodů J-K pro sudý dělící poměr $1:2^n$, kde n je počet použitých klopných obvodů. Pokud chceme



Obr. 81. Dělič kmítočtu s dělicím poměrem
1:4

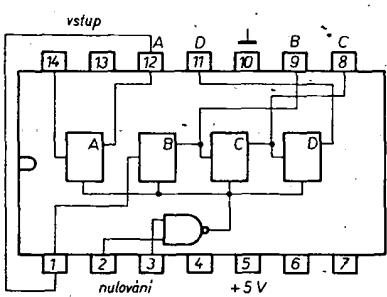
dělit vstupní kmitočet lichým číslem, musíme upravit zapojení tak, že k děliči kmitočtu s dělícím poměrem 1 : 2^n přidáme ještě další obvod J-K, který po naplnění děliče aktivuje a který se překlopí na další vstupní impuls. Obecně je toto zapojení zobrazeno na obr. 82 pro dělící poměr 1 : $(2^n + 1)$. Děliče kmitočtu lze řadit za sebe, takže



Obr. 82. Dělič kmitočtu s dělicím poměrem
1: (2ⁿ + 1)

připojíme-li např. dělič kmitočtu s dělicím poměrem $1:3$ výstupem na vstup děliče s dělicím poměrem $1:7$, získáme dělič kmitočtu s dělicím poměrem $1:(3 \times 7)$, t.j. $1:21$.

Pro větší délci poměry je vhodnější použít integrované obvody s několika klopnými obvody J-K v jednom pouzdře, např. MH7493. Tyto obvody mají vyvedeny z pouzdra nulovací vstupy, jimž lze využívat všechny klopné obvody J-K, jak je zřejmé z obr. 83. Těchto vstupů lze využít k úpravě



Obr. 83. IO MH7493

dělicího poměru obvodu. Jedná se o tzv. zkracování početního cyklu obvodu. Jakmile se současné objeví na obou nulovacích vstupech úroveň log. 1, je splněna podmínka nulování. Vynulování všech klopňých obvodů proběhne velmi rychle a prakticky se zpoždění projeví až při mezních kmitočtech integrovaného obvodu. Na obr. 84 jsou uvedeny všechny možné kombinace propojení jednoho integrovaného obvodu typu MH7493 bez přídavných logických členů. Zbývající kombinace v rozsahu dělicích poměrů 1 : 2 až 1 : 16 lze zapojit s přídavným logickým členem NAND a negací podle obr. 85.

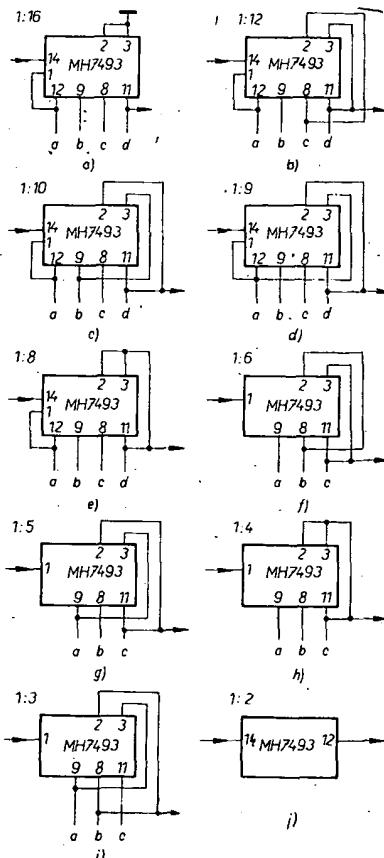
Pokud požadujeme obvod s dělícím poměrem větším než 1 : 16, nevystačíme s jedním obvodem MH7493 a musíme rádit několik obvodů do série. Někdy je nutno, pro dělící poměry větší než 1 : 16, vázat nulovací obvody na výstupy sousedních klopňových obvodů. Takových kombinací je neomezeně a pro prvocísla do 379 jsou rozkresleny v AR B1/1979.

Čítače mají na rozdíl od děličů kmitočtu obvykle za úkol registrovat počet vstupních impulsů. Podle účelu použití pracují čítače v různých kódech, mohou být vratné, mohou mít možnost přednastavení počáteční hodnoty atd. Dále bývají doplněny obvody k přepisu jejich obsahu, obvody indikace obsahu, obvody komparace a nulování.

V základním zapojení mohou být čítače sestaveny ze stejných klopných obvodů jako děliče kmitočtu podle obr. 80 až 85. V integrované verzi jsou nejobvyklejší obvody typu MH7490, MH7493, MH74192 a MH74193. Obvody MH7490 a MH74192 se používají pro čítání v kódu BCD. Zapojení a použití uvedených obvodů je zřejmě z katalogu TESLA Rožnov.

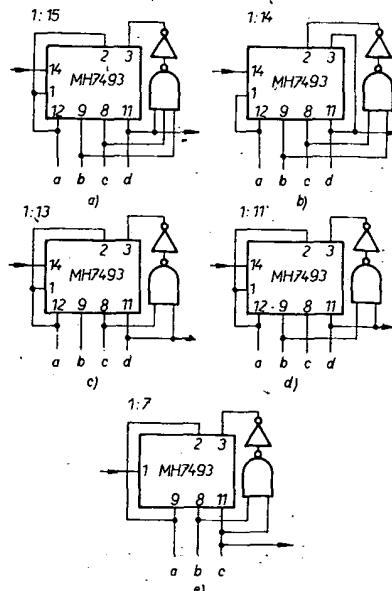
Obykle potřebujeme obsah čítače též indikovat a porovnávat s předem nastavenou velikostí. Na obr. 86 je schéma univerzálního čtyřdekádového čítače v kódě BCD s použitím integrovaných obvodů typu MH7490. Všechny bity tohoto čítače jsou připojeny k dvojčinným klopným obvodům D, které jsou ve čtvrtičích v pouzdře integrovaného obvodu MH7475. Přivedeme-li ke vstupům ZÁPIS krátký jednicočkový impuls, přepíše se obsah čítače do téhoto klopných obvodů a se sestupnou hranou tohoto impulsu se klopné obvody opět zablokují. Hodnota čítače tedy zůstane „zapsána“ v klopných obvodech. Tento obvod se používá např. tehdy, když se obsah čítače rychle mění a údaj na zobrazovací jednotce by nebyl přehledný, nebo v případě, že chceme znát obsah čítače v časovém úseku příliš krátkém pro běžné pozorování zobrazovací jednotky.

Připojíme-li vstupy ZÁPIS na úroveň log. 1, jsou výstupy z čítače připojeny přímo k dekódérům D147 a obsah čítačů je průběžně indikován zobrazovacími jednotkami LO410.

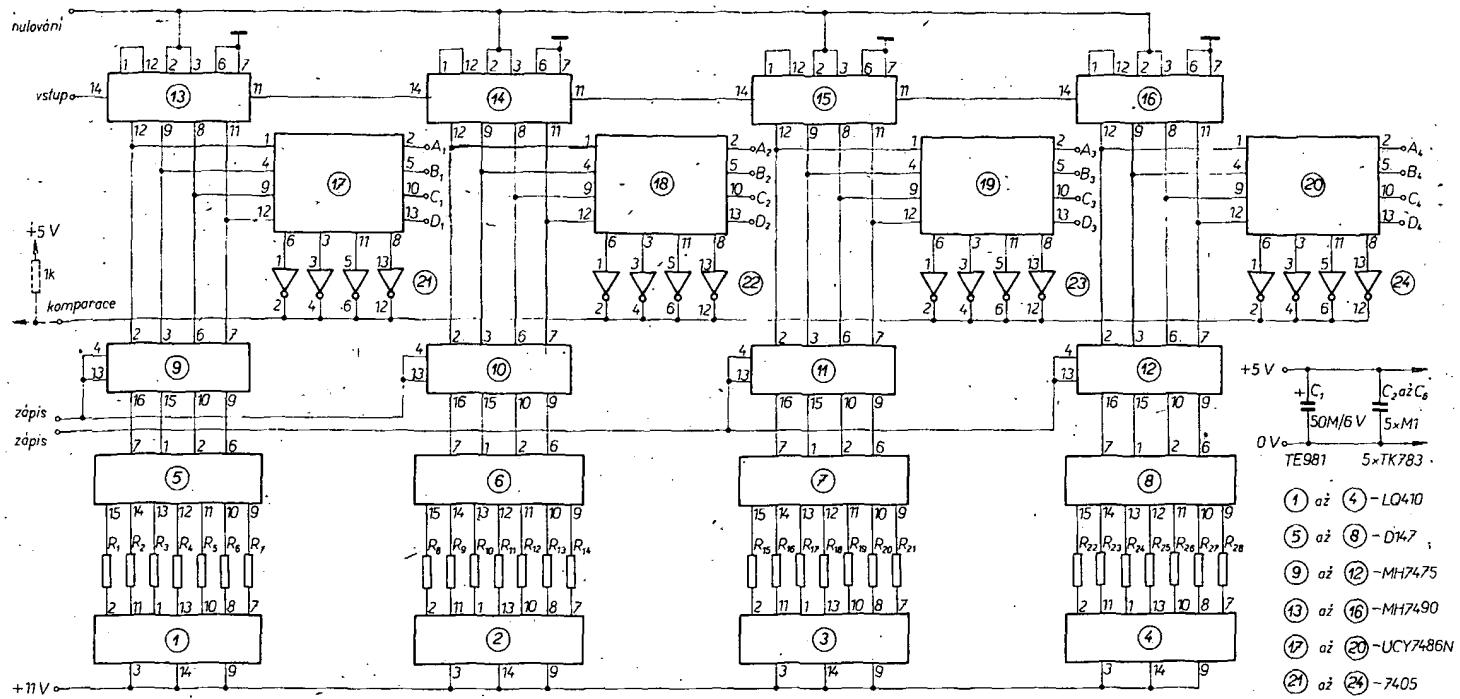


Obr. 84. Zkracování početního cyklu IO
MH7493 bez přídavných obvodů

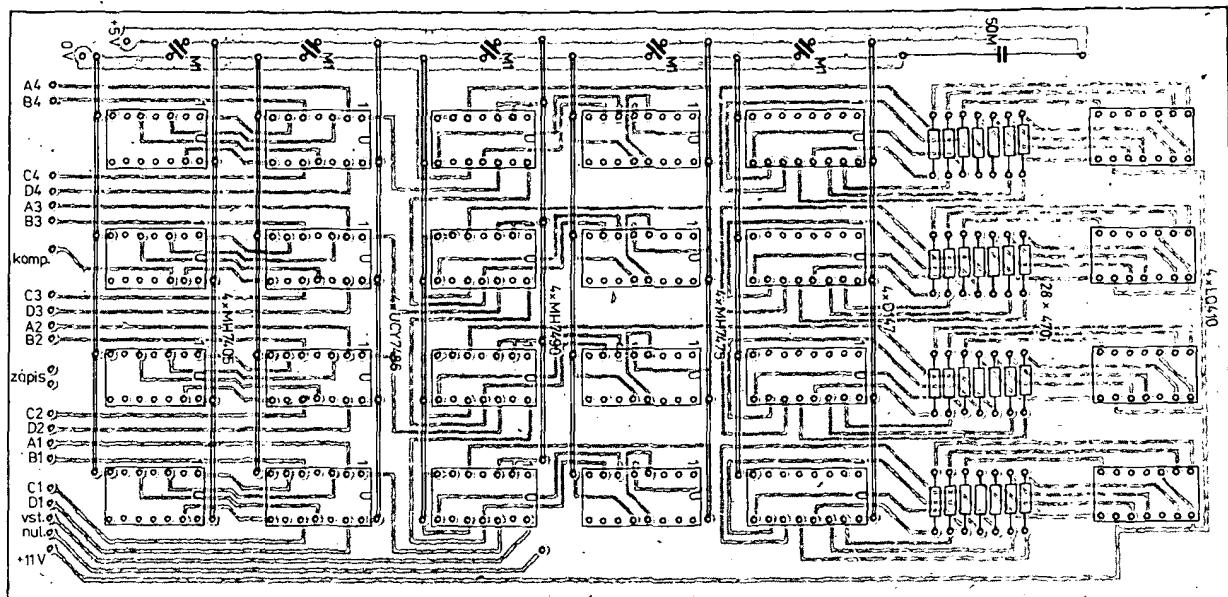
Tento čítac má univerzální použití. Lze jej použít nejen samostatně, ale i jako část jiných měřicích přístrojů, např. číslicového otáčkoměru, popsaného v tomto RK. Na obr. 87 je deska s plošnými spoji a na obr. 88 je skutečné provedení.



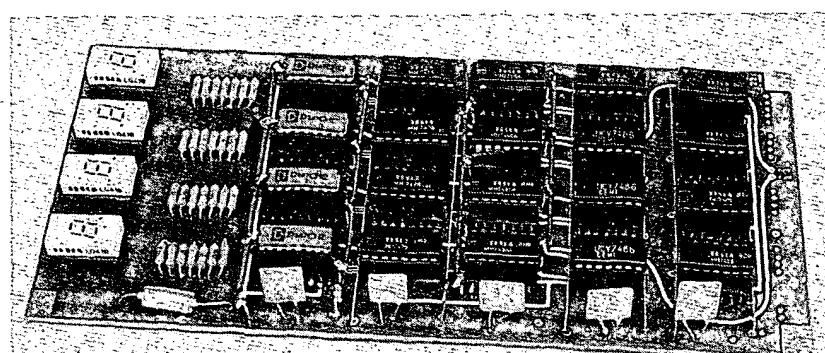
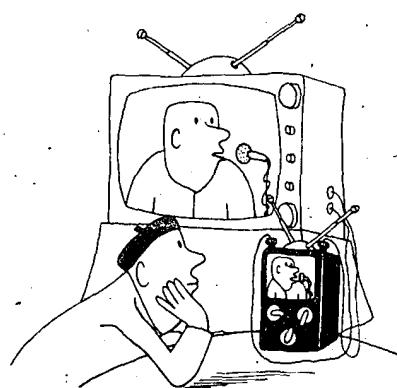
Obr. 85. IO MH7493 jako dělič kmitočtu s přidavnými logickými členy



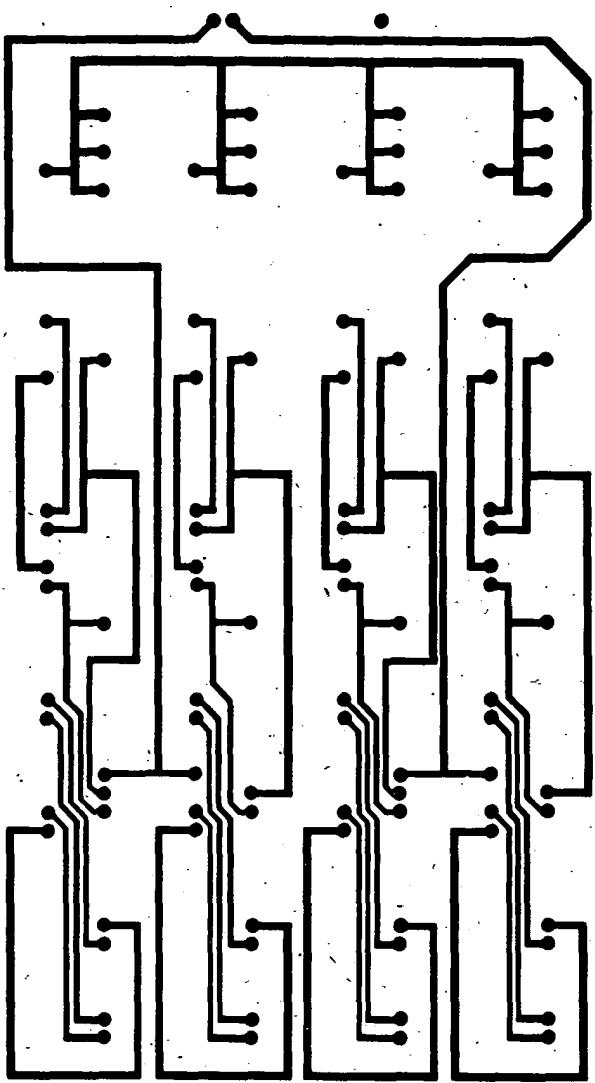
Obr. 86. Univerzální čtyřdekádový čítač



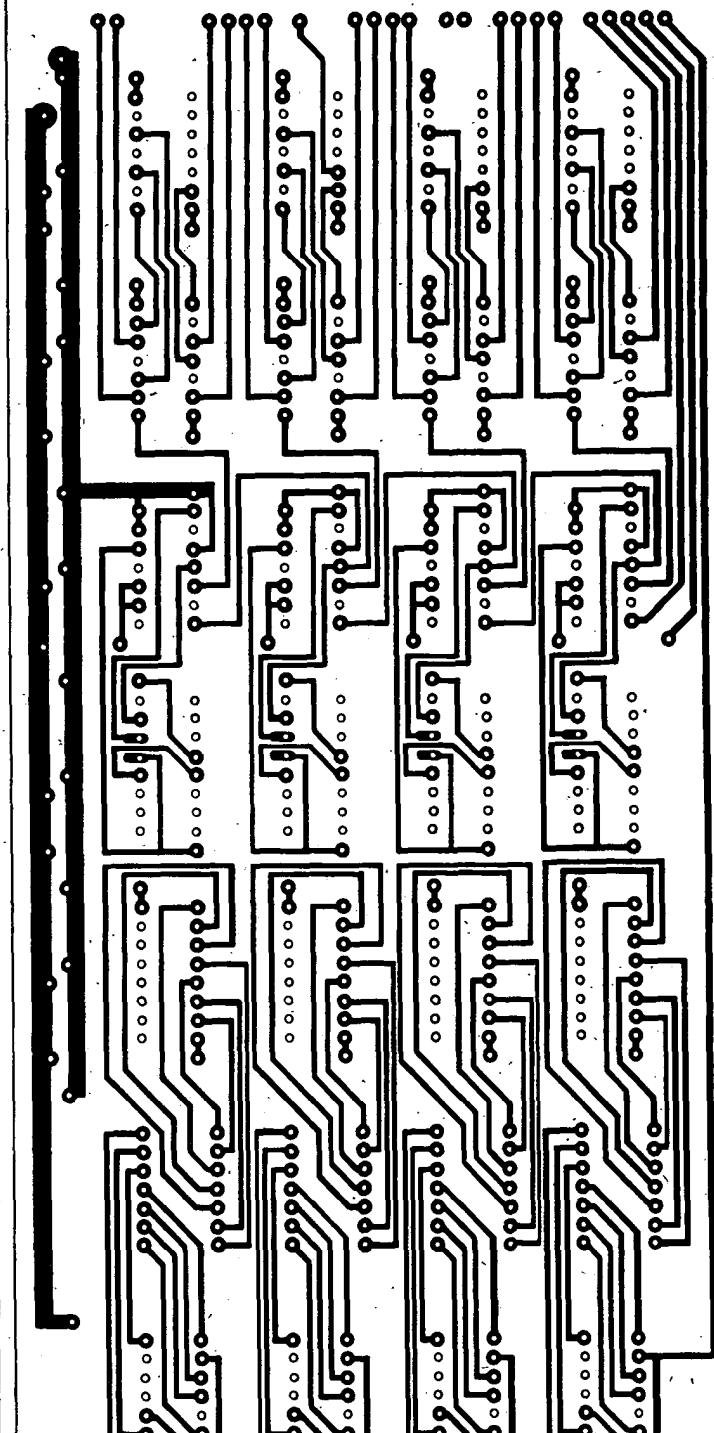
Obr. 87. Deska s plošnými spoji P218 univerzálního čtyřdekádového čítače



Obr. 88. Skutečné provedení univerzálního čítače



P218

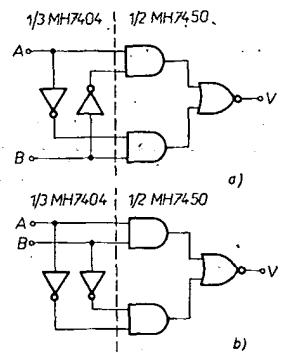


Komparátory

Obvody, které rozpoznávají shodnost úrovní přiváděných informací, jsou tzv. komparátory. Rozeznáváme komparátory číslicové, které jsou určeny k porovnávání logickej úrovní číslicových informací, a analogové, které porovnávají dva analogové údaje vyjádřené obvykle napětím.

Číslicové komparátory se skládají z logickej obvodů, kdežto komparátory analogové většinou používají vlastnosti operačních zesilovačů.

Základem číslicového porovnávacího obvodu je obvod se dvěma vstupy A a B a výstupem V. Na vstup A přivádime první z porov-

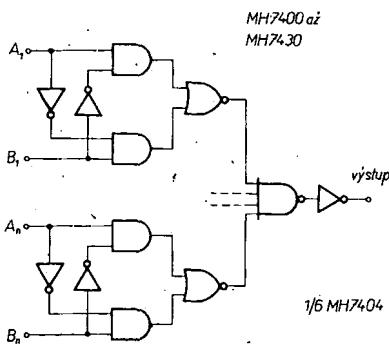


A	B	V
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Obr. 89.

A	B	V
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

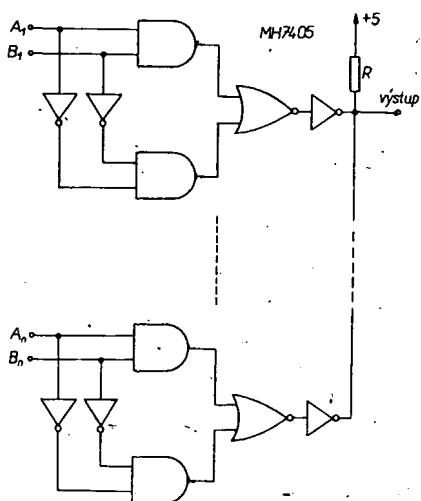
návaných bitů a na vstup B druhý (párový) bit. Obvod na obr. 89a je dvoubitovým komparátorem, který se skládá z hradla AND-OR-INVERT a dvou negátorů. Shodnost vstupních bitů vytváří výstupní úroveň log. 1. Na obr. 89b je komparátor stejně složitosti, využívající stejných stavebních prvků, avšak výstupní úroveň je proti zapojení na obr. 89a negována. Logické členy zde vytvázejí funkci EXCLUSIVE-OR. Pro komparátory lze použít integrované obvody MH7450 s invertoři MH7404.



Obr. 90. Řazení komparátorů AND-OR-INVERT

Pro porovnání většího počtu párových bitů musíme rozšířit zapojení o další obvody, jimiž rozpoznáme shodnost bitů ve všech párových komparátořech. Zde se používají bud několikavstupové logické členy NAND s negátorem pro komparátory AND-OR-INVERT (pro výstupy s log. 1 při shodnosti vstupů), jak je naznačeno na obr. 90, nebo negátory s otevřeným kolektorem pro komparátory EXCLUSIVE-OR podle obr. 91. Druhé řešení je méně náročné na počet integrovaných obvodů.

Komparátor, který využívá logických členů EXCLUSIVE-OR v integrovaných obvodech UCY7486N, je součástí univerzálního čtyřdekádového čítače na obr. 86. Tyto IO jsou připojeny parallelně k výstupům z čítačů MH7490. Na párové vstupy A₁ až D₄ lze připojit např. výstupy z dekadických přepí-



Obr. 91. Řazení komparátorů EXCLUSIVE-OR

načů předvolby (v kódu BCD) nebo výstupy z logických členů s informací o předvoleném čísle. Při totožnosti logických úrovní na všech párových vstupech jsou všechny výstupní tranzistory negátorů MH7405 v nevodivém stavu a na výstupu KOMPARACE je úroveň log. 1.

K výstupu je ještě nutno připojit odpory o velikosti 1 kΩ, jehož druhý konec připojíme na +5 V. Výstupní tranzistory negátorů s tzv. „otevřeným kolektorem“ vytvářejí spolu s odporem součinný logický člen.

Provedení desky s plošnými spoji tohoto univerzálního čtyřdekádového čítače se zobrazením a komparací je na obr. 87. Spoje na desce jsou navrženy tak, že desku lze libovolně upravovat pro větší nebo menší počet dekád. Maximální kmitočet, který je schopen čítač zpravovat, je určen výrobcem integrovaných obvodů MH7490 na 32 MHz.

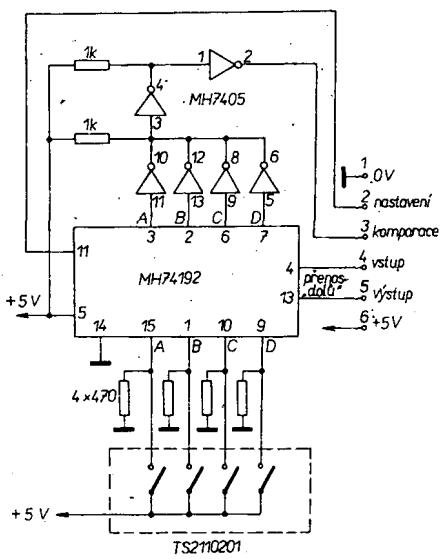
Obvod má vstup NULOVÁNÍ, kterým lze všechny čítače vynulovat impulsem úrovně log. 1. Propojíme-li výstup KOMPARACE se vstupem NULOVÁNÍ, získáme dělič kmitočtu s dělícím poměrem určeným předvoleným číslem v kódu BCD na párových vstupech komparátoru např. číslicovými přepínači. Výstupní dělící impulsy jsou na výstupu KOMPARACE.

Čítač je nutno napájet stabilizovaným napětím 5 V/0,6 A a nestabilizovaným napětím 11 V/0,5 A.

Jiný typ stavebnicového čítače s komparací je na obr. 92 a 93. Toto zapojení je vhodné např. pro časovače a podobné obvody, u nichž sice nepotřebujeme znát okamžitý obsah čítače, ale potřebujeme generovat impuls po určitém, předem nastaveném počtu vstupních impulsů. Jedná se tedy o univerzální dělič kmitočtu s předvolbou a blokováním.

Na číslicovém přepínači zvolíme požadovaný obsah čítače a před prvním čítáním impulsem tuto hodnotu zapíšeme obvody zápisu do vratného čítače sestaveného z integrovaných obvodů typu MH74192. Po signálu START překlopí klopný obvod R-S, který zablokuje zápis a čítač odebírá od předvolené hodnoty vstupující impulsy. Jakmile je obsah čítače roven nule, výstup komparátor komparačního obvodu R-S se překlopí zpět. Současně se opět přepíše obsah čítače na předvolenou hodnotu a obvod je připraven k další činnosti.

Obvody podle obr. 93 obsahující jeden čítač MH74192 pro kód BCD a obvod komparace s šestici negátorů MH7405 jsou s potřebnými pasivními součástkami na jedné desce s plošnými spoji. Deska je mechanicky připevněna k číslicovému přepínači typu TS 211 02 01, který má výstup v kódu BCD.



Obr. 93. Stavebnicový díl čítače s komparací

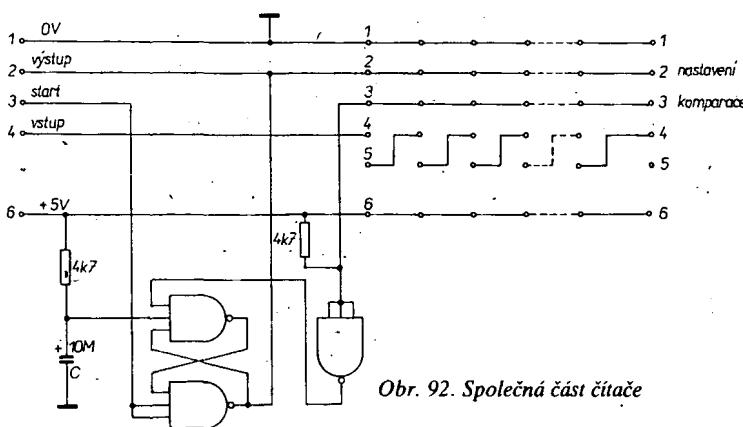
Komparátor se skládá ze čtyř negátorů s otevřeným kolektorem a z odpory, na něž vzniká negovaný logický součet výstupů z čítače. Zbyvající dva negátory integrovaného obvodu jsou využity k zvětšení logického zisku obvodu.

Protože číslicové přepínače připojují mechanickými kontakty jednotlivé bity k napětí +5 V, je nutno doplnit všechny čtyři výstupy z přepínače odpory 470 Ω, připojenými na 0 V zdroje. Nepřipojené bity jsou potom na úrovni log. 0.

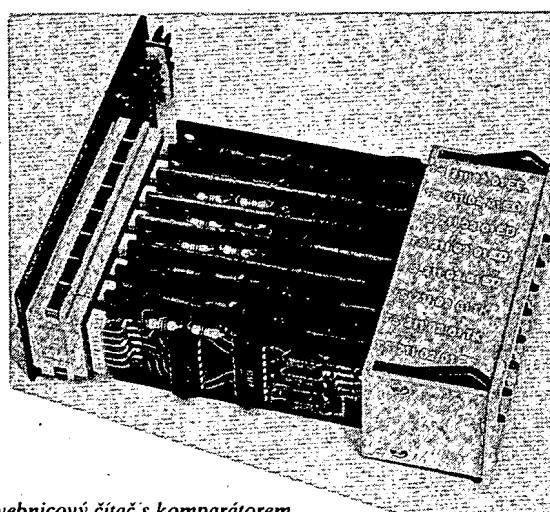
Každá deska s plošnými spoji je opatřena šestikolíkovým konektorem, který se sběrnkovým způsobem připojuje k obvodu na obr. 92. Tímto způsobem lze libovolně zvětšovat počet dekád čítače.

Komparátor ve všech dekadách by bylo možno využít a jako komparačního signálu využít negovaného přenosového impulsu „dolů“ z čítače nejvyšší dekády. Protože je však tento přenosový impuls generován až následujícím vstupním impulsem po obsahu čítače 0000, byl by přepočet načítaných impulsů o jeden větší, než je předvolená hodnota. Za cenu úspory negátorů by bylo možno s touto vlastností počítat a zadávat číslo o jednotku menší. Druhou možností bylo využít signálu START nejen k blokování zápisových vstupů překlopením klopného obvodu R-S, ale i ke generování opravného impulsu.

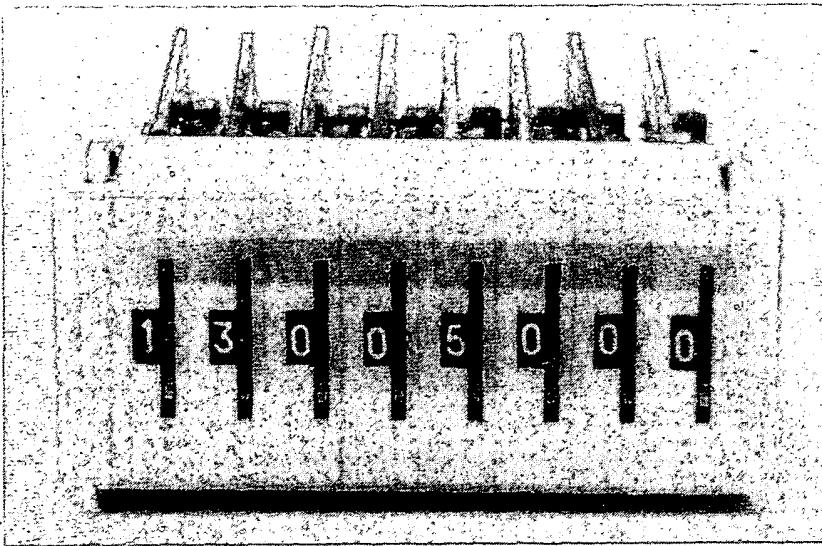
Kondenzátor C slouží k samocinnému nastavení klopného obvodu R-S do základního stavu po připojení zdroje. Mechanické uspořádání stavebních dílů je zřejmé z obr. 94 a 95.



Obr. 92. Společná část čítače



Obr. 94. Stavebnicový čítač s komparátem



Obr. 95. Stavebnicový čítač s komparátorem – jiný pohled

Násobení kmitočtu

V předchozích odstavcích bylo popsáno několik způsobů dělení kmitočtu, avšak v obvodářské praxi jsme někdy nuteni kmitočet naopak násobit. Vyřešení tohoto úkolu nebyvá vždy snadnou záležitostí, obzvláště tehdy, požadujeme-li správnou funkci obvodu ve velkém rozsahu kmitočtů a rovnoměrné generování násobků základního kmitočtu impulů z hlediska jejich šířky.

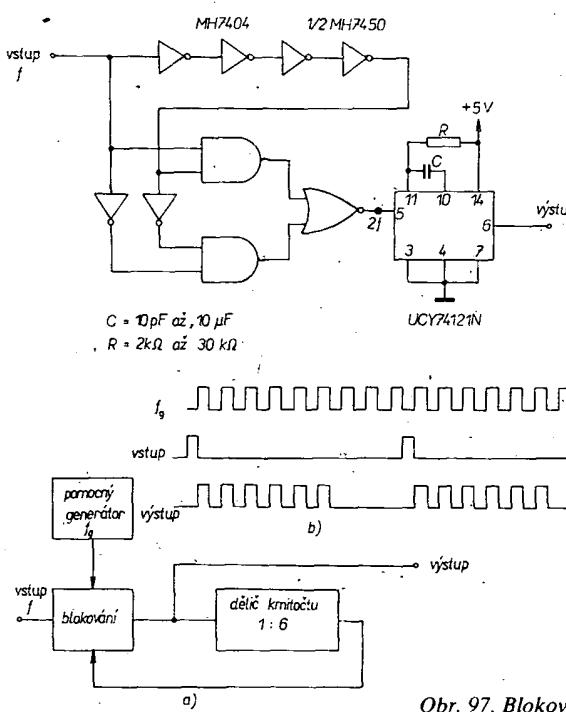
Nejjednodušší lze získat signál dvojnásobného kmitočtu ze vstupního signálu obdélníkového průběhu. Obvod pro tento účel je na obr. 96. Vstupní signál přivádíme k řetězci negátorů, kterých je sudý počet. V tomto řetězci se časově zpozdi náběžné a sestupné hrany vstupních impulů. Vstupní signál a zpožděný signál přivedeme na vstupy porovnávacího obvodu, který vytváří funkci EXCLUSIVE-OR, tedy k jednobitovému číslicovému komparátoru, jehož činnost byla popsána v předchozích odstavcích. Obvod generuje v případě nesouhlasu vstupních bitů úroveň log. 1. Po dobu zpoždění náběžné i sestupné hrany je tedy generován krátký impuls. Výstupní kmitočet je proti vstupnímu

dvojnásobný. Obvod vyhovuje pro velký rozsah kmitočtů a přestává pracovat až v oblasti kmitočtů blížících se mezním kmitočtem použitých obvodů.

Nevýhodou je v některých aplikacích malá šířka těchto impulů. V takovém případě lze výstupní impulsy připojit k monostabilnímu multivibrátoru typu UCY74121N a vnějšími členy R a C impulsy prodloužit na potřebnou šířku. Toto řešení vyhoví ovšem pro podstatně menší rozsah kmitočtů vstupního signálu.

Chceme-li vstupní kmitočet násobit více než dvakrát, lze použít několik obvodů zařazených za sebou. Při násobení kmitočtu lichým číslem kombinujeme použití násobičů a děličů kmitočtu.

Funkčně odlišné řešení násobiče kmitočtu logického signálu je blokově znázorněno na obr. 97 a. Obvod využívá pomocného generátoru, jehož kmitočet je vyšší, než je výsledný požadovaný kmitočet. Sestupnou hranou vstupního logického signálu se odblokuje impulzy z pomocného generátoru. Tyto impulsy jsou přivedeny k děliči kmitočtu a k výstupu z obvodu. Dělič kmitočtu má dělící poměr roven požadovanému násobku kmi-



Obr. 96. Zdvojovovač kmitočtu do 12 MHz

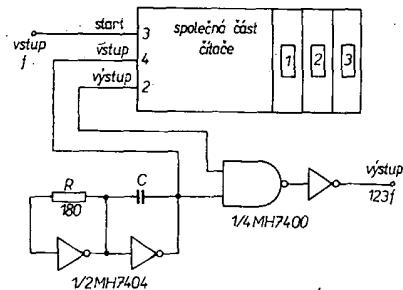
točtu výsledného signálu. Jakmile se rovná počet odblokovávaných impulů z pomocného generátoru dělícímu poměru děliče kmitočtu, zablokuje výstupní impuls pomocný generátor až do následující sestupné hrany vstupního signálu.

Počet výstupních impulů z tohoto obvodu je celistvým násobkem vstupních impulů, neboť každou sestupnou hranou vstupního signálu je obvodem generována série impulů, číselně shodná s dělícím poměrem děliče kmitočtu. Průběhy v zapojení jsou na obr. 97b. Výstupní impulsy z tohoto obvodu mají kromě speciálních případů nerovnoměrnou šířku.

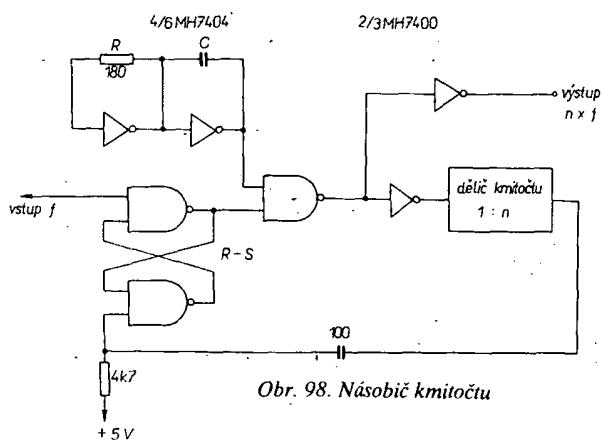
Skutečné zapojení obvodu je na obr. 98. Klopny obvod R-S blokuje kmitočet z pomocného generátoru. Generátor je sestaven ze dvou negátorů, odporu R a kondenzátoru C. Kapacitou kondenzátoru lze nastavit potřebný kmitočet tak, aby byl vyšší, než je největší požadovaný kmitočet na výstupu z obvodu. Pro rozsah kmitočtu 1 Hz až 1 MHz bude kapacita kondenzátoru 100 pF až 100 pF.

Místo děliče kmitočtu lze použít některý z obvodů na obr. 81 až 85 podle požadovaného dělícího poměru. Dělič kmitočtu je připojen ke klopnému obvodu R-S přes kondenzátor, neboť požadujeme, aby klopny obvod překlopil při sestupné hraně výstupního impulsu.

Pro násobení kmitočtu logického signálu stejným způsobem lze použít i univerzální stavebnicový čítač s komparací, který byl popsán v předchozí části tohoto AR a jehož schéma je na obr. 92 a 93. Získáme tak univerzální násobič kmitočtu, jehož násobitel lze snadno nastavit číslicovými přepínači. Uspořádání je na obr. 99. Klopny obvod R-S na společné části univerzálního čítače překlopí sestupnou hranou vstupního logického signálu, který připojíme na vstup START. Na vorce s označením VÝSTUP se vytvoří úroveň log. 1, která trvá tak dlouho, pokud počet impulů z pomocného generátoru připojeného ke vorce VSTUP není roven předvolené hodnotě čítače. Na výstupu sou-

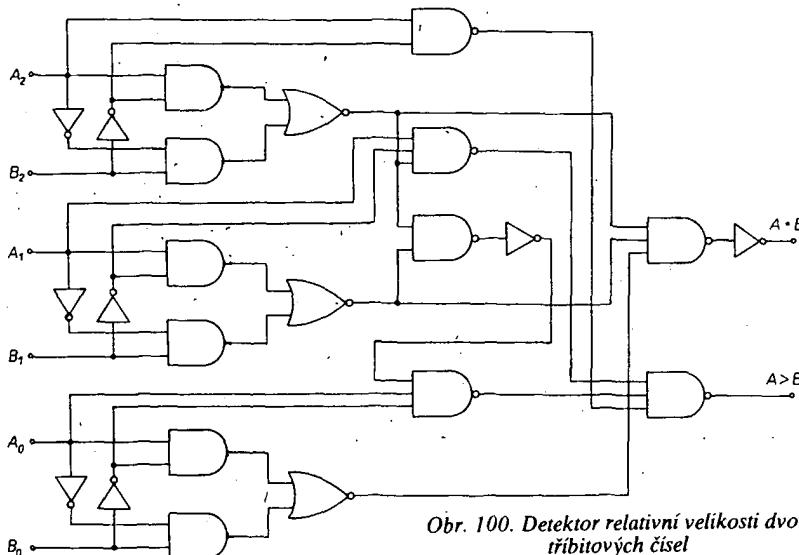


Obr. 99. Univerzální násobič kmitočtu



Obr. 98. Násobič kmitočtu

Obr. 97. Blokové schéma násobiče kmitočtu



Obr. 100. Detektor relativní velikosti dvou tříbitových čísel

činového členu připojeného k pomocnému generátoru a klopnému obvodu R-S získáme požadovaný násobek kmitočtu vstupních impulzů. Samozřejmě i pro tento obvod platí stejně požadavky na kmitočet pomocného generátoru, jako v předchozím zapojení.

Nevyhodou popsaných obvodů pro násobení kmitočtu je nerovnoměrné rozložení výstupních impulzů. Tuto nevyhodu lze odstranit např. tak, že kmitočet pomocného generátoru plynule upravujeme podle vstupního kmitočtu. Taková zapojení jsou poměrně složitá a lze je sestavovat z číslicových, analogových i kombinovaných obvodů. Jejich konkrétní podoba závisí na specifických požadavcích a obecný návod by přesáhl pokud jde o počet stránek únosnou míru. Postup naznačuje např. článek ing. Karla Kuchty: Zdvojovova kmitočtu v AR A10/1980, str. 377.

Méně přesný způsob násobení kmitočtu je založen na použití dvou převodníků. První z nich převádí vstupní kmitočet na napětí a toto napětí je převedeno opět na kmitočet potřebné velikosti. Tento způsob převodu je značně náročný na vlastnosti obou převodníků, pokud požadujeme lineáritu a stabilitu v určitém rozsahu kmitočtů.

Detektor relativní velikosti čísel

Často se nespokojíme při porovnání dvou binárně vyjádřených čísel pouze s konstatováním o jejich nerovnosti, ale potřebujeme znát, které z těchto dvou čísel je větší a které menší. Toto rozlišení potřebujeme například při sledování odchylky od předvolené hodnoty v regulacích systémůch.

V zahraničí se vyrábějí speciální integrované obvody určené pro rozlišení velikosti dvou čísel. Jsou to např. obvody typu SN7485, které porovnávají dvě čtyřbitová čísla. Tyto obvody mají výstupy, indikující, které z obou čísel je větší, nebo zda jsou stejně velká. Obvody lze vzájemně dalšími výstupy vázat a vytvořit tak porovnávací paralelní obvod o libovolném počtu čísel.

Při porovnávání dvou binárních čísel se vychází ze zásady, že větší číslo je to, které má větší hodnotu v největších z neshodných čísel. Méně významné čísla přitom nemá význam porovnávat. Např. číslo A = 11011 je větší než číslo B = 10111, protože v pořadí druhý číslo s největším významem (2^3) čísla A je větší.

a) Paralelní (váhový) převodník je v nejjednodušší podobě znázorněn na obr. 101. Každý vstupní bit převodníku ovládá spínač, který připojuje do společného výstupního obvodu analogovou složku (proud) úměrnou velikosti váže odpovídajícího vstupního čísla. Převodníky tohoto druhu jsou rychlé, avšak s počtem zpracovávaných čísel růstou značně nároky na počet a výběr prvků obvodu.

Bude-li nejnižší bit binárního kódu (2^0) spínat spínač S_1 a nejvyšší (2^3) spínač S_8 a bude-li platit $R_1 : R_2 = R_2 : R_4 = R_4 : R_8 = 2 : R < R_8$, potom U_2 bude úměrně hodno tě vstupnímu binárnímu čísla.

Při skutečném návrhu tohoto převodníku pro větší počet čísel musíme dodržet následující zásady: odpory musí být dlouhodobě a teplotně stálé. Čím delší je řetězec odporů, tím větší je rozdíl mezi hodnotami R_1 a R_8 . Přitom nestabilita odporu R_1 musí být menší než je zlomek hodnoty odporu R_8 . Jinak pozbývá přírůstek proudu, který odporem R_8 protéká, v obvodu převodníku smysl. Pro 10 čísel je tato hodnota menší než 2^{-10} , tj. menší než promile. Tuto podmínu lze splnit pouze tak, že přesné a stabilní odpory umisťujeme do termostatu. Polovodičové spínače musí být rovněž teplotně velmi stabilní a úbytky napětí, které na nich vznikají, musí být minimální. Častěji se používá zapojení, které využívá vlastnosti operačního zesilovače a síť odporu se skládá z odporu takových hodnot, které se vzájemně příliš neliší. V takovém případě lze dosáhnout podstatně lepší stabilitu celého převodníku. Spínače přepínají jednotlivé větve z úrovně referenčního napětí (-10 V) na 0 V. Proud se v každém uzlovém bodě dělí v poměru 1 : 2, což odpovídá binárnímu rozdělení spínačů.

Na obr. 102 je zapojení s operačním zesilovačem MAA741. Odporová síť se skládá z odporů R_1 až R_4 . Tranzistory mají za úkol přizpůsobit úroveň logických obvodů TTL obvodu převodníku a spínat uzlové body odpovědět na referenční nebo nulové napětí. Zbytkové napětí kolektor-emitor je díky inverznímu provozu pouze několik milivoltů a lze teplotního kolísání zbytkového napětí je tak potlačen na minimum. Rychlosť převodníku je omezena vlastnostmi operačního zesilovače a potřebná doba převodu je asi 100 μ s. Při dodržení přesnosti použitých odporů, tj. 0,2 %, je maximální chyba výstupní analogové hodnoty šestibitového převodníku asi 2 %.

Převodníky

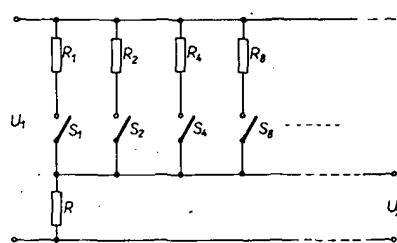
Převodníkem rozumíme obvod k převádění informací z jednoho způsobu vyjádření do jiného. Mezi nejběžněji používané převodníky v elektronických obvodech patří:

1. převodníky mezi číslicovým a analogovým způsobem vyjádření informace (C/A a A/C);
2. převodníky měnící jeden číslicový způsob vyjádření informace na jiný (např. b/BCD);
3. převodníky mezi kmitočtem a analogovým číslicovým vyjádřením informace.

Číslicově analogové převodníky – C/A

Vstupní informací tohoto převodníku je obvykle číslo, vyjádřené v binárním, binárně dekadickém nebo dekadickém kódu. Výstupní informací je analogová veličina, obvykle napětí. Určenému rozsahu vstupních číslicových kombinací odpovídá určitý rozsah výstupního napětí. Na zahraničním trhu existují v současnosti převodníky C/A zhotovené hybridní technologií ve tvaru jediné součástky. Na našem trhu se tyto součástky zatím nevyskytují. V amatérské praxi lze převodníky realizovat z diskrétních součástek. Obvodově dělíme převodníky na dvě skupiny:

- a) převodníky paralelní a
- b) převodníky sériové.



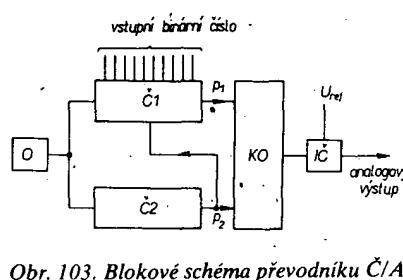
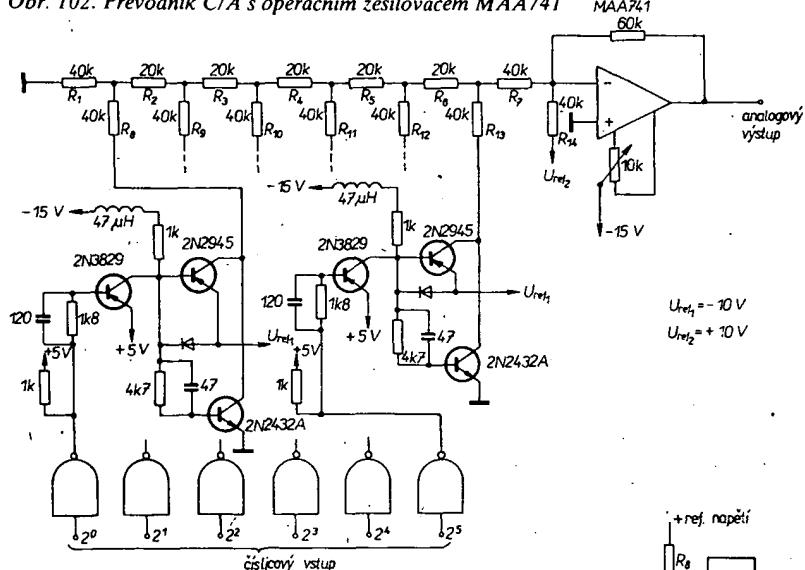
Obr. 101. Paralelní převodník C/A

Při sériové výrobě převodníků hybridní technologií se používají velmi náročná, automaticky pracující zařízení, která jednotlivě odpory sítě proměňují a např. laserovým paprskem upravují jejich hodnoty.

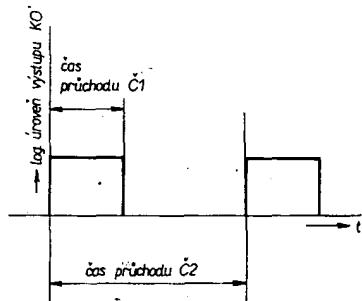
b) Sériový převodník C/A lze realizovat např. podle blokového schématu na obr. 103. Oscilátor O kmitá pokud možno vysokým kmitočtem, který je omezen vlastnostmi čítačů (C_1 a C_2), klopného obvodu (KO) a spínačů v integračním členu (IC). Čítač C_1 je obvodem nastavený nastaven na vstupní hodnotu binárního čísla. Čítač C_2 má rozsah maximální hodnoty čítače C_1 a tedy největšího výstupního binárního čísla. Po určité době se C_1 naplní a na jeho výstupu se objeví přenosový impuls p_1 . Ten překlopí klopný obvod KO. Jakmile se naplní i druhý čítač, přenosový impuls p_2 překlopí klopný obvod do původního stavu. Současně se první čítač nastaví na hodnotu vstupního binárního čísla. Děj se neustále opakuje. Na výstupu z klopného obvodu získáme průběh znázorněný na obr. 104. Kmitočet tohoto signálu je určen kmitočtem oscilátoru, děleným obsahem druhého čítače. Strídání signálu se mění v závislosti na vstupním binárním čísla.

Integrační člen, připojený ke klopnému obvodu, vytváří analogový výstup, který je vstupnímu číslu úměrný. Takový převodník

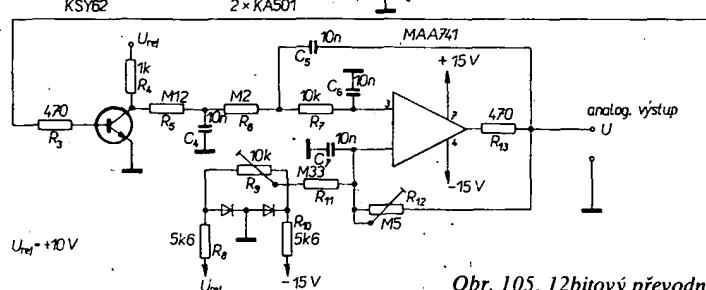
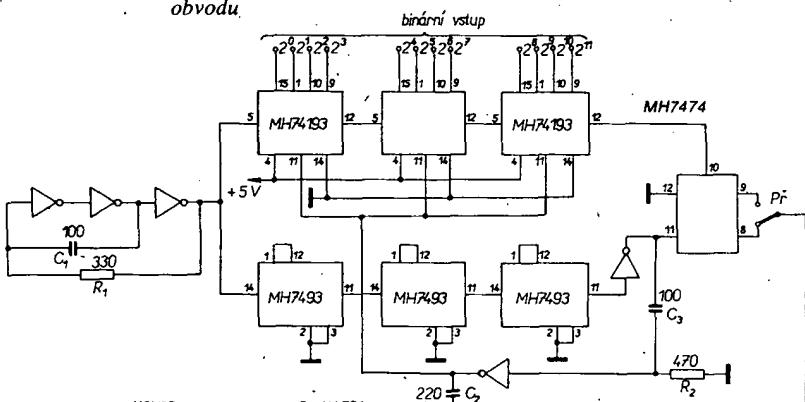
Obr. 102. Převodník Č/A s operačním zesilovačem MAA741



Obr. 103. Blokové schéma převodníku Č/A



Obr. 104. Průběh na výstupu z klopného obvodu.



Obr. 105. 12bitový převodník

je poměrně jednoduchý a přesný, avšak proti paralelnímu převodníku pomály.

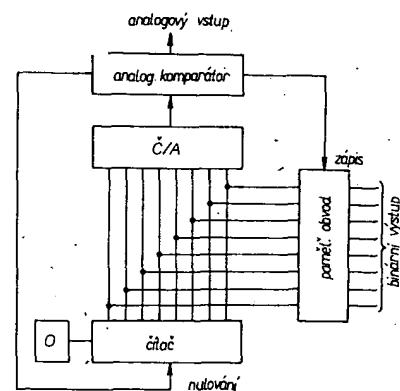
Skutečné schéma dvanactibitového převodníku je na obr. 105. Kmitočet oscilátoru nemusí být přesný ani stabilní, postačí jednoduchý obvod složený ze tří logických invertorů. Nahradíme-li integrované obvody v prvním čítači obvody MH74192 a druhý čítač osadíme obvody MH7490, převodník upravíme pro vstupní informaci v kódě BCD. Přepínacem P můžeme invertovat analogové výstupní napětí, takže vstupnímu nejvyššímu binárnímu číslu odpovídá minimální napětí. Potenciometrem R_9 nastavíme nulovou hodnotu a potenciometrem R_{12} maximální požadovanou hodnotu výstupního analogového napětí. Přitom musí vstupní binární číslo odpovídat nejprve nulové a potom maximální hodnotě.

Analogově číslicové převodníky A/Č

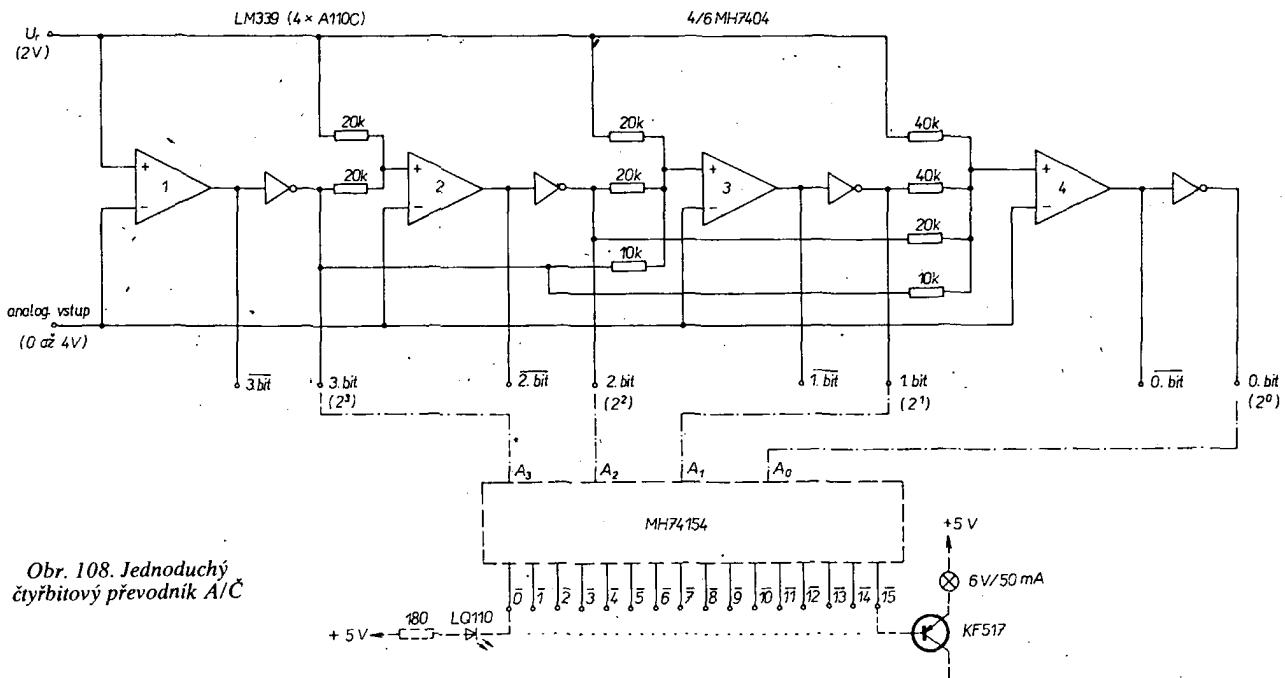
Tyto převodníky mohou opět pracovat paralelním, nebo sériovým způsobem. U rychlejšího paralelního způsobu se obzvlášť projevuje jeho všeobecná nevýhoda, tj. značný počet aktivních i pasivních prvků a náročnost jejich výběru. Na obr. 106 je základní zapojení paralelního převodníku. Vstupní analogový signál je paralelně připojen k většemu množství rychlých analogových komparátorů. Každý z těchto komparátorů je nastaven na jiné referenční napětí. Počet komparátorů odpovídá počtu kombinací číslicového výstupu z převodníku. Pro vyhodnocení analogové veličiny s přesností 1 % by bylo nutno použít více než 100 analogových komparátorů. Proto se tohoto způsobu využívá výjimečně pro převod celého rozsahu analogové veličiny. Často se však tyto převodníky používají při vyhodnocení mezi analogového údaje, např. při třídění výrobků do několika skupin. Využívá se zde rychlosti převodu.

Analogovým komparátorem je obvykle rychlý operační zesilovač, jehož výstupní úroveň je slučitelná s obvody TTL logických obvodů. Číslicový údaj z komparátorů je totiž nutno ještě většinou upravit na číslo, vyjádřené binárně nebo v kódě BCD. Pro tento účel se užívá speciálních obvodů – rychlých diferenciálních komparátorů, např. A110C z NDR.

Provedení sériového převodníku A/Č je blokově naznačeno na obr. 107. Je použit sériově pracující převodník A/Č např. podle obr. 105. Binární vstup tohoto převodníku je připojen k čítači, který rychle mění svůj obsah od nulové do maximální hodnoty. Analogový výstup z převodníku je připojen k analogovému komparátoru, který porov-



Obr. 107. Blokové schéma sériového převodníku A/Č.



Obr. 108. Jednoduchý čtyřbitový převodník A/C

nává tento výstup se vstupní analogovou hodnotou. Při jejich rovnosti přepisuje stav čítače do paměťového členu a vynuluje čítač. Děj se trvale opakuje a obsah paměťového členu je binárním vyjádřením vstupní analogové veličiny.

Rychlosť převodu je značně malá, neboť převod je dvojnásobný a sériový. Výhodnější je použít paralelní převodník C/A.

Jednoduchý čtyřbitový analogově číslicový převodník

Pro méně náročné aplikace, při nichž vystačíme se šestnácti stupni rozdělení analogové veličiny, lze použít zapojení podle obr. 108. Vstupní napětí v rozsahu 0 až 4 V dělíme po stupních 0,25 V na výstupní binární čísla 0000 až 1111. Převodník je vhodný pro amatérské použití např. při měření teploty, výšky hladiny kapalin, dvouvodičové ovládání modelů apod.

Připojíme-li k výstupům integrovaný převodník binárního kódu na kód 1 ze šestnácti typu MH74154, můžeme ovládat odpovídajících 16 aktivních členů, nebo spínat indikační žárovky či svítivé diody, odpovídající vstupnímu napětí.

Ovov se skládá ze čtyř analogových komparátorů s výstupy sluchitelnými s logickými obvody TTL. Nejlépe se hodí čtverce komparátorů v jediném pouzdře (typ LM339), nebo 4 kusy dostupnějších diferenčních komparátorů typu A110C (NDR). Dále jsou použity čtyři invertory z integrovaného obvodu MH7404.

Funkce obvodu: Vstupní analogové napětí je na vstupech komparátorů porovnáváno s napětím, která jsou odvozena z referenčního napětí a napětí logických úrovní. Každý z komparátorů ovlivňuje prostřednictvím odporové sítě napětí na neinvertujících vstupech následujících komparátorů podle výsledku komparace. Tímto způsobem se vstupní analogové napětí postupně třídí v jednotlivých bitech, počínaje bitem nejvyšším řádu. Uveďme si příklad pro vstupní napětí 3,4 V. Toto napětí je v prvním komparátoru porovnáváno s referenčním napětím U_r . (Napětí U_r je střední hodnotou úrovně log. 0 a log. 1 použitých invertorů. V našem

případě budeme uvažovat úroveň log. 0 = 0 V, log. 1 = 4 V a $U_r = 2 V$.) Protože je vstupní napětí větší než U_r , je na výstupu z prvního komparátoru úroveň log. 0 a za invertorem log. 1 (4 V). Sí odporu vytváří na neinvertujícím vstupu druhého komparátoru napětí 3 V. Protože je vstupní napětí větší, je i na výstupu druhého komparátoru úroveň log. 0. Výstupní napětí obou prvních invertorů vytváří na neinvertujícím vstupu třetího komparátoru napětí 3,5 V. Proto tento komparátor spolu s invertorem vytváří log. 0. Na neinvertujícím vstupu čtvrtého komparátoru se vytváří napětí 3,25 V. Čtvrtá část převodníku má na výstupu úroveň log. 1. Binární číslo, které převodník vytvoří, je tedy 1101, což odpovídá dekadické hodnotě 13. Skutečně, rozdělíme-li 4 V na 16 dílů, je třináctá část napětí v rozmezí 3,25 až 3,5 V. Vstupní napětí 3,4 V tomuto rozmezí odpovídá.

Převodník lze rozšiřovat pro větší počet výstupních bitů, avšak logické úrovně nejsou dostatečně přesné. Proto by bylo nutno odporovou síť upravit podle použitých invertorů. Výhodou zapojení je i možnost využít inverzní výstupy.

Převodníky měnící číslicový způsob vyjádření informace na jiný číslicový způsob

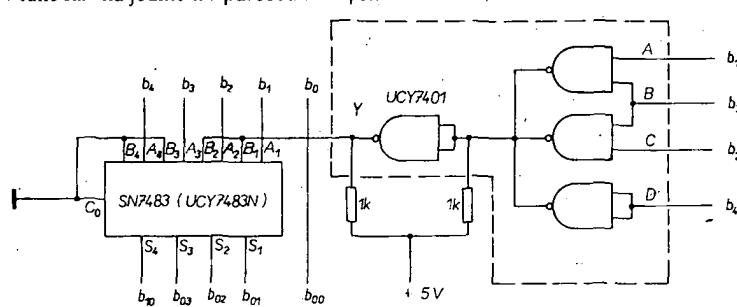
Sem patří převodníky z kódu 1 z 10 na binární kód a naopak, převodníky mezi binárním kódem a kódem BCD, převodníky mezi různými kódy pro speciální použití (Grayův kód/BCD), generátory paritních bitů, spínače sedmisegmentových a maticových zobrazovacích prvků atd. Pro tyto převody jsou vyráběny mnoha výrobci převodníky v tuhé fázi na jediném čipu. Jsou to např.:

MH7442 – převodník z kódu BCD na kód 1 z 10,
MH74154 – převodník kódu BCD na kód 1 z 16,
UCY74180N – paritní generátor,
D146, D147 – převodník BCD na sedmisegmentový zobrazovací prvek,
MH2501 – generátor alfanumerických znaků v latinské abecedě,
MH2502 – generátor alfanumerických znaků v ruské abecedě,
SN74185 – výrobce programovaná paměť SN7488 pro převod z binárního kódu na kód BCD,
SN74184 – převodník z kódu BCD na binární kód.

Převodníky kódu BCD na binární kód a naopak

Přeměna kódu BCD na binární kód a naopak není jednoduchá. S výše uvedenými obvody vystačíme pro převod pětibitového čísla. Pro převod většího množství bitů je nutno použít větší množství těchto obvodů a opět stojíme před rozhodnutím, zda použít rychlejšího převodníku paralelního, nebo pomalejšího sériového. Výhody a nevýhody jsou opět stejné. Počet prvků paralelního (statického) převodníku se s počtem převáděných bitů zvětšuje geometrickou řadou. Sériové převodníky (dynamické) mají počet prvků v nejneprůzivějším případě lineárně úměrný počtu převáděných bitů. Mezi sériově pracující převodníky můžeme počítat i takové, které zpracovávají vstupní informaci po skupinách a lze sem zařadit i převod kódu počítacem, který zpracovává postupně celá slova paralelním způsobem.

Na obr. 109 je zapojení paralelního pětibitového převodníku z binárního kódu na kód



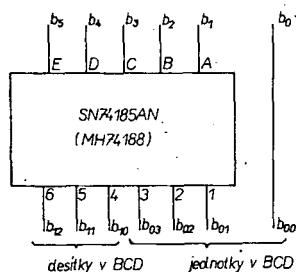
Obr. 109. Pětibitový převodník z binárního kódu na kód BCD

Tab. 1. Vstupní a výstupní stavu zapojení podle obr. 7

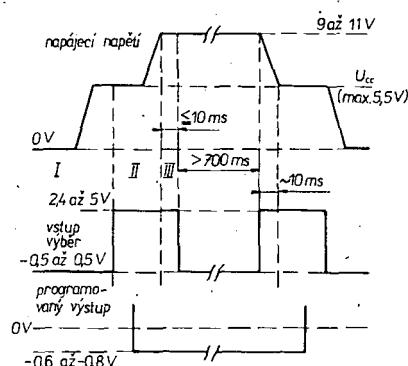
Dekadicke číslo	Binární číslo					BCD				
	b_4	b_3	b_2	b_1	b_0	b_{10}	b_{03}	b_{02}	b_{01}	b_{00}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
3	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
4	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1
6	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0
7	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
8	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
9	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
10	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
11	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1
12	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0
13	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0
14	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0
15	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0
16	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
17	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1
18	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0
19	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1

BCD. Nejnižší bit, tj. bit vyjadřující řád 2^0 binárního čísla, se při převodu na kód BCD nemění a proto vystačíme se čtyřbitovým sčítacím obvodem. Pět výstupních bitů omezuje počet kombinací na rozsah 00 až 19 ve vyjádření BCD. Vstupní a výstupní stavu jsou v tab. 1.

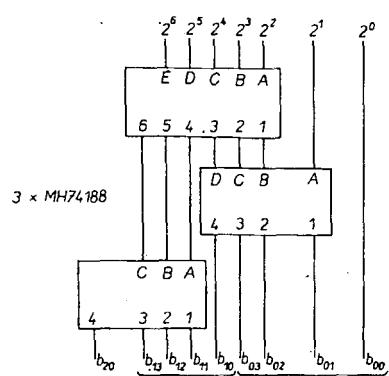
Integrovaný obvod SN7483 (UCY7483N) je čtyřbitový úplný sčítací obvod, který pro



Obr. 110. Šestibitový převodník b/BCD



Obr. 111. Průběhy programovacích impulsů



Obr. 112. Sedmibitový převodník b/BCD

Tab. 2. Vstupní a výstupní stavu 6bitového převodníku

Dekadicke číslo	Binární číslo						BCD						
	b_5	b_4	b_3	b_2	b_1	b_0	b_{12}	b_{11}	b_{10}	b_{03}	b_{02}	b_{01}	b_{00}
0/1	0	0	0	0	0	0	0/1	0	0	0	0	0	0/1
2/3	0	0	0	0	1	0	0/1	0	0	0	0	1	0/1
4/5	0	0	0	1	0	0	0/1	0	0	0	1	0	0/1
6/7	0	0	0	1	1	0	0/1	0	0	0	1	1	0/1
8/9	0	0	1	0	0	0	0/1	0	0	1	0	0	0/1
10/11	0	0	1	0	1	0	0/1	0	0	1	0	0	0/1
12/13	0	0	1	1	0	0	0/1	0	0	1	0	1	0/1
14/15	0	0	1	1	1	0	0/1	0	0	1	0	1	0/1
16/17	0	1	0	0	0	0	0/1	0	0	1	0	1	0/1
18/19	0	1	0	0	1	0	0/1	0	0	1	1	0	0/1
20/21	0	1	0	1	0	0	0/1	0	1	0	0	0	0/1
22/23	0	1	0	1	1	0	0/1	0	1	0	0	1	0/1
24/25	0	1	1	0	0	0	0/1	0	1	0	0	1	0/1
26/27	0	1	1	0	1	0	0/1	0	1	0	0	1	0/1
28/29	0	1	1	1	0	0	0/1	0	1	0	1	0	0/1
30/31	0	1	1	1	1	0	0/1	0	1	1	0	0	0/1
32/33	1	0	0	0	0	0	0/1	0	1	1	0	1	0/1
34/35	1	0	0	0	0	1	0/1	0	1	1	0	1	0/1
36/37	1	0	0	0	1	0	0/1	0	1	1	0	1	0/1
38/39	1	0	0	0	1	1	0/1	0	1	1	1	0	0/1
40/41	1	0	0	1	0	0	0/1	1	0	0	0	0	0/1
42/43	1	0	1	0	0	1	0/1	1	0	0	0	1	0/1
44/45	1	0	1	1	0	0	0/1	1	0	0	0	1	0/1
46/47	1	0	1	1	1	0	0/1	1	0	0	0	1	0/1
48/49	1	1	0	0	0	0	0/1	1	0	0	1	0	0/1
50/51	1	1	0	0	0	1	0/1	1	0	1	0	0	0/1
52/53	1	1	0	1	0	0	0/1	1	0	1	0	0	0/1
54/55	1	1	0	1	1	0	0/1	1	0	1	0	1	0/1
56/57	1	1	1	0	0	0	0/1	1	0	1	0	1	0/1
58/59	1	1	1	0	1	0	0/1	1	0	1	1	0	0/1
60/61	1	1	1	1	0	0	0/1	1	1	0	0	0	0/1
62/63	1	1	1	1	1	0	0/1	1	1	0	0	1	0/1

prvních deset kombinací podle tab. 1 žádný z bitů nemění. Všechny přičítané bity mají totiž hodnotu log. 0. Teprve od dekadického čísla 10 se změní logická úroveň výstupu Y z integrovaného obvodu UCY7401 na log. 1 a sčítací obvod přičítá ke vstupním bitům dekadické čísla 6. Integrovaný obvod UCY7401 vytváří logickou funkci $Y = AB + BC + D$. Časové zpoždění převodníku je asi 60 ns.

Chceme-li převést na vyjádření v kódě BCD šestibitové binární číslo (což odpovídá dekadickým číslům 0 až 63), můžeme použít zapojení podle obr. 110. Je zde využito jediného integrovaného obvodu typu SN74185AN, který je vlastně výrobcem naprogramovaná paměť typu ROM – SN7488 podle tabulky 2. Pro tentýž účel lze použít dostupnější paměť PROM MH74188, kterou naprogramujeme podle téže tabulky.

Paměť ROM 256 bitů typu MH74188 se programuje takto:

1. Připojí se napájecí napětí a kombinaci logických úrovní na vstupech ADRESA se zvolí slovo, které má být naprogramováno (oblast I na obr. 111).

2. Vstup VÝBĚR se připojí na napětí 2,4 až 5 V (oblast II).

3. Výstupní bit, který má být naprogramován, se připojí na napětí -0,6 až -0,8 V.

4. Napájecí napětí se zvětší na 9 až 11 V a nejpozději do 10 ms po dosažení této hodnoty (oblast III) se vstup VÝBĚR připojí na napětí -0,5 až 0,5 V. Toto „výbavení paměti“ musí trvat dlež než 700 ms. Nejpozději do 10 ms po navrácení vstupu VÝBĚR na napětí podle bodu 2 musí se změnit napájecí napětí na původní velikost podle bodu 1 (max. 5,5 V). Zdroj napájecího

napětí musí být schopen dodat při napětí 0 až 11 V proud 100 mA.

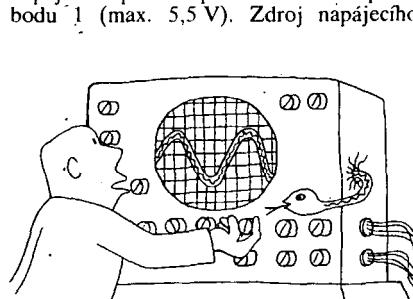
Jednotlivé bity se programují postupně a je vhodné se vždy ihned přesvědčit o správném naprogramování každého bitu. K tomuto účelu poslouží přípravek s přepínači, kterými lze snadno adresovat celé osmibitové slovo. Osminy tlačítka potom postupně programujeme jednotlivé buněky a žárovkami indikující stav těchto buněk.

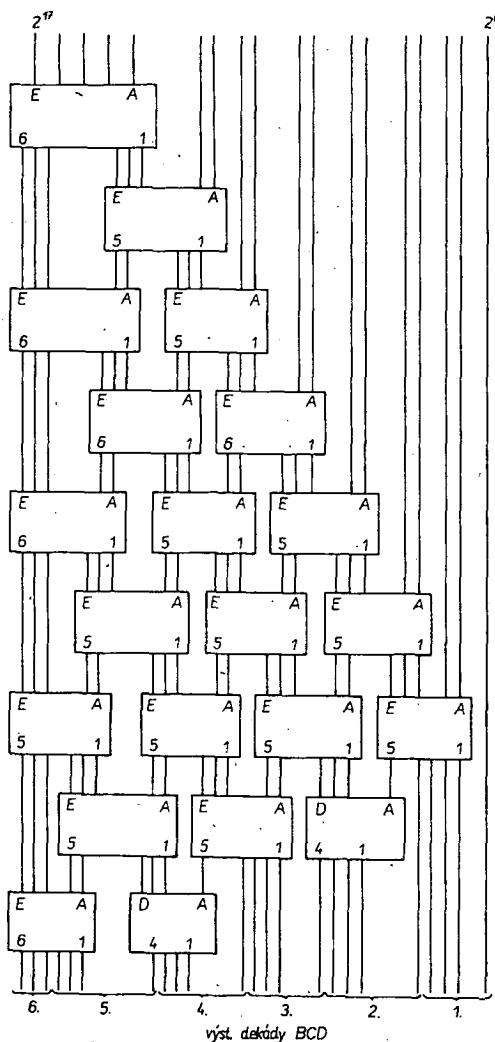
Integrovaný obvod MH74188 má výstupy s otevřeným kolektorem. Proto při skutečném provedení převodníku z binárního kódu na kód BCD podle obr. 110 je nutno na výstupy ještě připojit potřebné odpory. Maximální výstupní proud je 12 mA.

Chceme-li převádět z binárního kódu na kód BCD větší počet bitů, lze zapojení kaskádovitě rozšířovat, avšak počet nutných obvodů se rychle zvětšuje. Na obr. 112 je zapojení pro převod sedmi vstupních bitů a na obr. 113 je zapojení pro 18 vstupních bitů. Vždy jsou použity obvody s vlastnostmi podle funkční tab. 2, tj. integrované obvody SN74185AN nebo naprogramované MH74188.

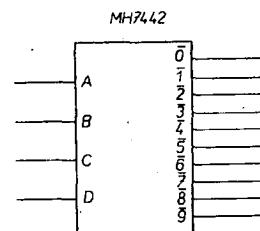
Casové zpoždění takových převodníků však závisí na počtu sériově řazených obvodů a pro 18bitový převodník je tedy devítinásobné, proto zpoždění v jediném obvodu. Pro obvod MH74188 je zpoždění udáno výrobcem max. 50 ns. Skutečné zapojení je nutno doplnit odpory na všechny výstupních s otevřenými kolektory a vstupy VÝBĚR připojit k zápornému pólmu napájecího zdroje.

Pokud je vstup VÝBĚR obvodu MH74188 na úrovni log. 1, jsou všechny výstupy z tohoto obvodu na úrovni log. 1. Uspořádání s otevřenými kolektory umožňuje řadit tyto obvody paralelně a potřebnou výstupní kombinaci získávat pouze z jednoho obvodu. Tento obvod aktivujeme právě vstupem VÝBĚR. Na obr. 114 je zapojení takového obvodu pro převod libovolného sedmibitového kódu na jiný osmibitový kód, popř. sedmibitový kód včetně paritního bitu. Tímto způsobem lze převádět mezi sebou



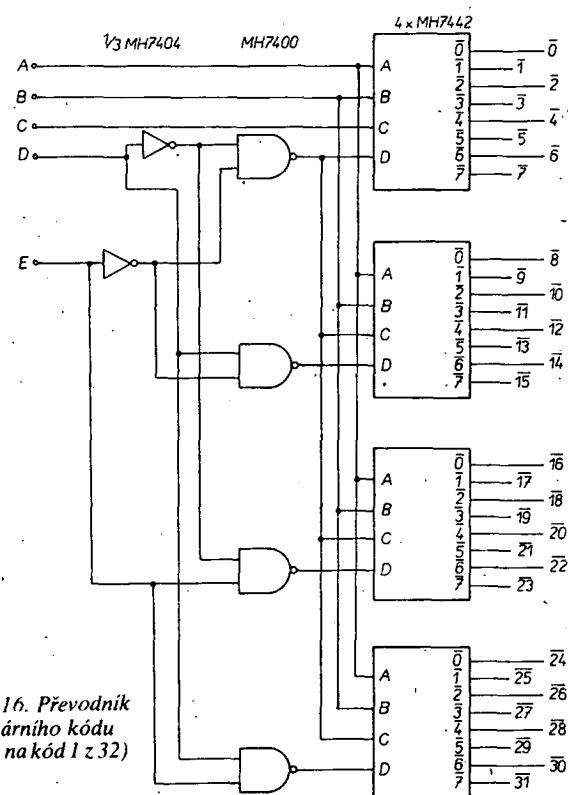


Obr. 113. 18 bitový převodník b/BCD

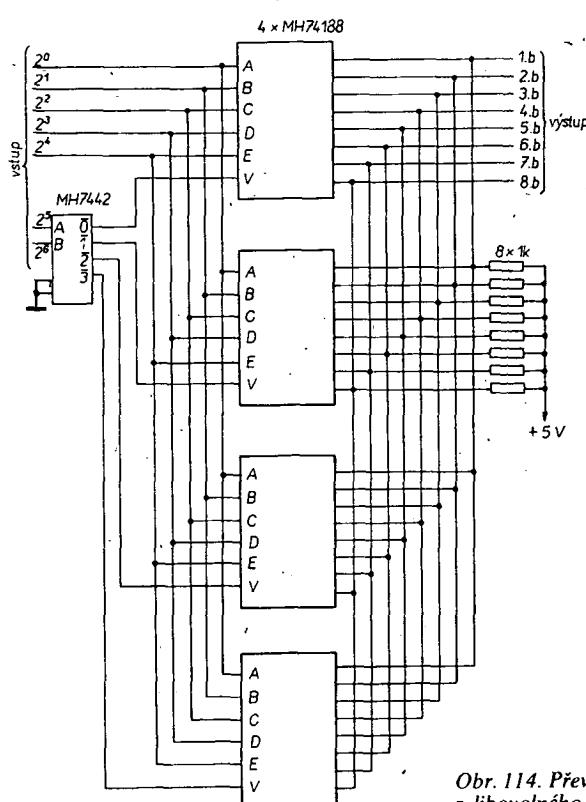


Obr. 115. IO MH7442

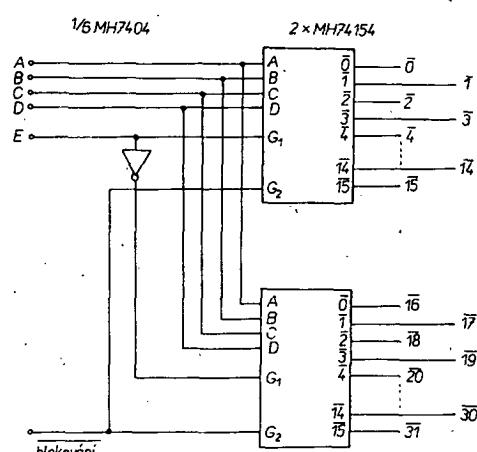
různé dálnopisné kódy. Dekódér MH7442 aktivuje potřebnou paměť a obvod lze libovolně rozšiřovat pro větší počet vstupních i výstupních bitů. Jednotlivé buňky paměti je nutno samozřejmě předem naprogramovat na potřebnou výstupní kombinaci. Tento



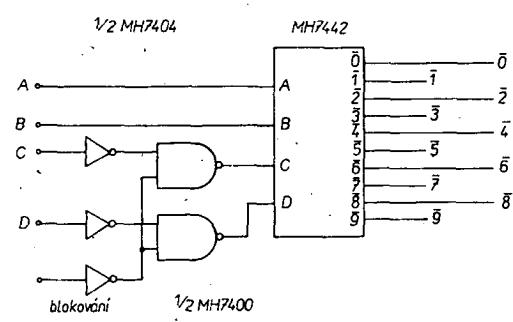
Obr. 116. Převodník z binárního kódu (5 bitů na kód 1 z 32)



Obr. 114. Převodník z libovolného 7bitového vstupního kódu na 8bitový výstup



Obr. 117. Převodník s použitím 2 ks MH74154



Obr. 118. Úprava k blokování IO MH7442

převodník je podstatně rychlejší než převodník z obr. 112 a 113 a lze jej použít i pro převod z binárního kódu na BCD a naopak.

Převodník z BCD nebo binárního kódu na kód 1 z N

V těchto převodnicích se obvykle používají integrované převodníky typu MH7442 (kód BCD na 1 z 10) nebo MH74154 (binární čtyřbitový převodník na 1 z 16).

Obvod MH7442 je na obr. 115 a jeho funkci popisuje tab. 3. Obvod nemá možnost

Tab. 3. Funkční tabulka IO MH7442

VSTUPY	VÝSTUPY										0	1	2
A	B	C	D	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

blokování výstupů, avšak při vstupní hodnotě větší než 9 jsou všechny výstupy na úrovni log. 1. Této vlastnosti lze využít pro sériové řazení obvodů MH7442, čímž získáme vícebitový převodník. Na obr. 116 je zapojení binárního 8bitového převodníku na kód 1 z 32. Dva nejvyšší bity, tj. D a E, jsou dekódovány na 4 výstupy, které odblokují potřebný obvod MH7442. V zapojení je využito pouze osm výstupů z těchto obvodů a vstup D je použit k zablokování.

Výhodnější je použití dva integrované obvody typu MH74154 (obr. 117). Vstupy G₁ a G₂ blokují výstupy, takže lze jimi aktivovat potřebný integrovaný obvod. Aktivaci obstarává bit E. Pokud je jeho logická úroveň rovna 0, vybírájí bit A až C výstup z prvního obvodu, od hodnoty 16, kdy se změní logická úroveň bitu E na 1, vybírájí tyto bity výstup z druhého obvodu.

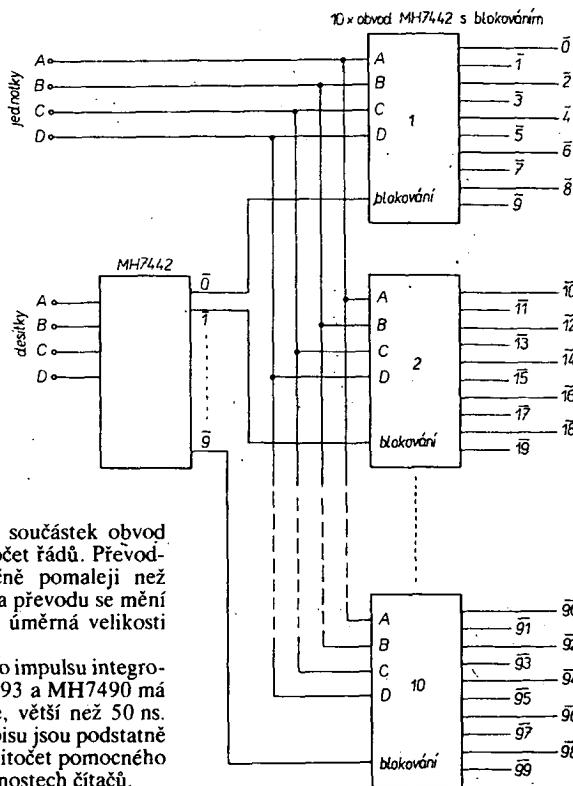
Pokud doplníme integrovaný obvod MH7442 podle obr. 118, můžeme vstupem BLOKOVÁNÍ upravit bit C a D na log. 1 a tím prakticky blokovat výstupy z tohoto obvodu. Potom lze libovolně rozšířit převodník pro vstupní informaci v kódě BCD. Na obr. 119 je naznačeno rozšíření pro výstupy 1 ze 100. Blokovací vstup umožňuje další rozšířování převodníku.

Sériově pracující číslicový převodník

Převodník pro převod dvou různých číslicových kódů může pracovat podle blokového schématu na obr. 120. Pomocný generátor pracuje na maximálním kmitočtu, který jsou schopny spolehlivě zpracovávat následné obvody. Impuly z generátoru jsou přivedeny na vstupy dvou čítačů, v nichž první pracuje v kódu vstupní informace a druhý v kódu, na který potřebujeme číslicovou informaci upravit. Komparátor porovnává obsah prvního čítače se vstupní kombinací. Při jejich souhlasu vyšle komparátor impuls do obvodu zápisu. Obvod zápisu zaznamená obsah druhého čítače, který je v tomto okamžiku požadovanou převedenou informací. Vzápětí se oba čítače vynulují a děj se opakuje.

Tímto způsobem lze poměrně pohodlně převádět jakýkoli číslicový kód na jiný a bez

Obr. 119. Převodník z BCD na kód 1 ze 100



velkých nároků na počet součástek obvod rozšířovat na libovolný počet řádů. Převodník ovšem pracuje značně pomaleji než převodník paralelní a doba převodu se mění se vstupní informací – je úměrná velikosti čísla.

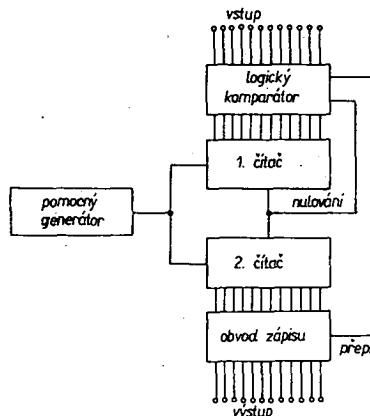
Šířka vstupního čítaného impulu integrovaných čítačů typu MH7493 a MH7490 má být, podle údajů výrobce, větší než 50 ns. Obvody komparace a přepisu jsou podstatně rychlejší a proto závisí kmitočet pomocného generátoru pouze na vlastnostech čítačů.

Budeme-li realizovat převodník z binárního kódu na kód BCD nebo naopak s uvedenými čítači, musí generátor pracovat na kmitočtu maximálně 10 MHz. V rozsahu tří dekád BCD bude trvat převod největšího čísla déle než 100 ns.

Na obr. 121 je zapojení převodníku binárního čísla na číslo v kódě BCD v rozsahu tří dekád BCD. Generátorem je symetrický astabilní klopový obvod ze dvou invertorů, kondenzátorů C a odporů R. Odpor je nutno volit v rozmezí 1 až 5 kΩ. Pro kmitočet generátoru platí tento přibližný vztah

$$f = \frac{1}{2RC}$$

Pro odpory 1 kΩ a kmitočet 10 MHz je kapacita kondenzátorů asi 50 pF. Impuly z generátoru jsou připojeny přímo ke vstupům obou čítačů. Binární čítač je sestaven z IO MH7493 a jeho výstupy jsou připojeny k logickému komparátoru z logických členů EXCLUSIVE – OR typu UCY7486N a invertorů s otevřeným kolektorem typu MH7405. Činnost komparátoru je popsána v kapitole Komparátory. Při souhlasu vstupní binární kombinace s obsahem čítače vznikne na odporu 1 kΩ komparační impuls. Tento



Obr. 120. Blokové schéma sériového převodníku

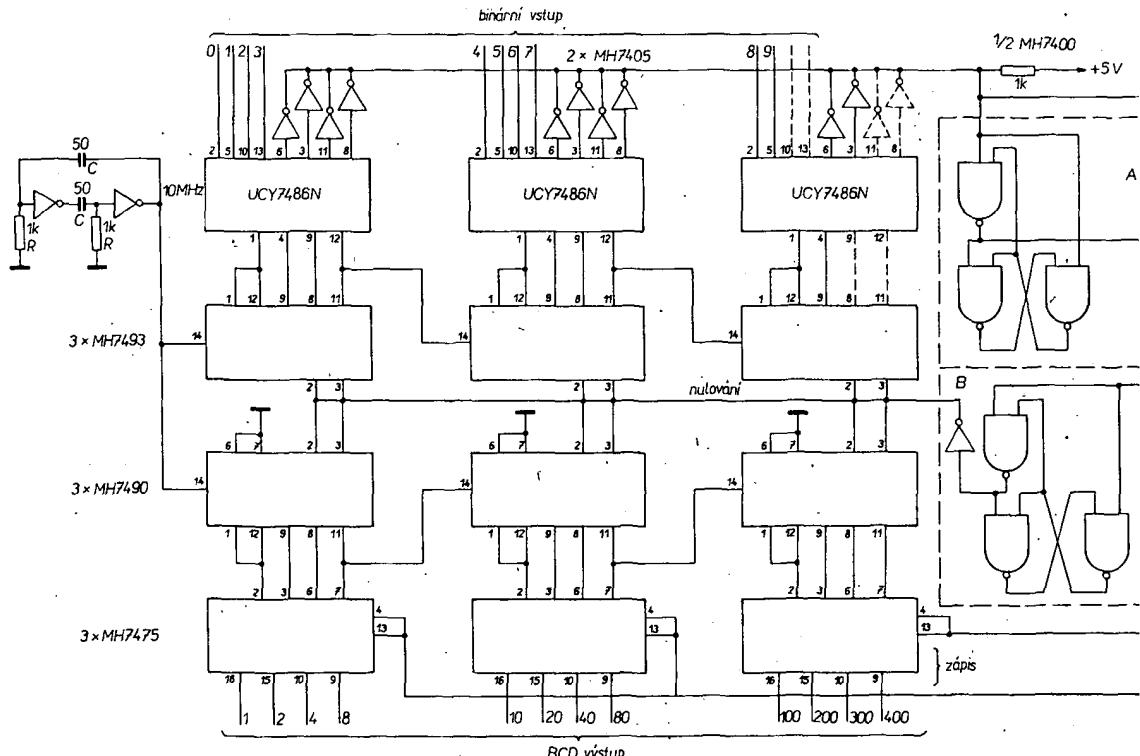
impuls má úroveň log. 1 a trvá po celou dobu periody pomocného generátoru, tj. asi 100 ns. S náležnou hranou komparačního impulsu generuje obvod označený A krátký impuls, jehož šířka je určena zpožděním tří hradel typu NAND, tj. asi 30 ns. Tento impuls je připojen ke vstupům pro zápis klopových obvodů MH7490 a pracuje v kódě BCD. Při sestupné hraně impulsu z komparačního obvodu je obvodem B generován impuls, který nuluje všechny čítače. Čítače začnou s následující sestupnou hranou impulsu z pomocného generátoru opět plnit svůj obsah a děj se opakuje.

Pokud požadujeme převod z kódů BCD na kód binární, stačí vyměnit vzájemně integrované obvody v čítačích a zapojit desátý a jedenáctý bit komparátoru. O tyto bity také rozšíříme počet vstupů. Naopak na výstupních svorkách jsou desátý a jedenáctý bit zbytečné, neboť obsah čítačů v kódě BCD je menší.

Převodník napětí/kmitočet

Velmi často je užitečné převést analogový údaj na údaj kmitočtový. Tohoto převodu se využívá např. při dálkovém měření (telemetrii) a pro číslicové zpracování analogových veličin. Připojme-li na výstup převodníku čítač impulsů s indikací obsahu získáme integrátor analogové veličiny. Připojením číslicového měříce kmitočtu získáme např. číslicový voltmeter atd.

Na obr. 122 je schéma relativně jednoduchého lineárního převodníku napětí na kmitočet. V zapojení je použit operační zesilovač MAA741 a univerzální časovací obvod typu 555 (např. NE555). Operační zesilovač tvoří spolu s odpory R₁ = R₄ a R₂ = R₃ napěťově řízený zdroj proudu. Proud z tohoto obvodu nabíji kondenzátor C₁, takže se napětí na kondenzátoru lineárně zvětšuje. Obvod 555 pracuje jako astabilní multivibrátor, který se překlopí v okamžiku, kdy napětí C₁ dosáhne 2/3 U_{cc}. Kondenzátor C₁ se začne vybíjet.



Obr. 121. Sériový převodník b/BCD

Když se napětí na C_1 zmenší pod $1/3 U_{cc}$, obvod 555 se opět překlopí do výchozího stavu. Kmitočet překlápní závisí na velikosti nabíjecího proudu a ten lze řídit napětím U_V . Pro pasivní prvky podle obr. 122 platí přibližně vztah:

$$f[\text{kHz}] \doteq 4.2\,f_K.$$

Změna vstupního napětí od 0 do 5 V vyvolá změnu kmitočtu od 0 do 21 kHz. Odchylka od linearity převodu nepřesahuje 3 %. Potenciometrem R_s nastavíme při nulovém vstupním napětí nulový kmitočet na výstupu.

Otáčkoměry

Obvody číslicové techniky umožňují poměrně snadno měřit rychlosť otáčení rotujících předmětů a její číslicovou indikaci. Jako čidlo se většinou používají fotoelektrické snímače s fototranzistorem. Tyto snímače jsou obvodově jednoduché a spolehlivé. V některých aplikacích je na závadu jejich citlivost na okolní světlo. Při umělém osvětlení může nastat situace, že snímač reaguje na kmitočet, kterým je světlo modulováno, tj. na dvojnosobný kmitočet sítě. Údaj o snímaných rychlostech otáčení může být potom zkreslený. Proto je nutno snímač před okolním světlem chránit a jako zdroje světla použít žárovku nebo svítivou diodu, které napájíme stejnosměrným filtrovaným napětím.

Jedno z možných konstrukčních řešení snímače je na obr. 123. Vnitřní část krytu je natřena matnou černí. Čočka z organického skla je osově provrácená a v otvoru, který je opět vyčleněn, je upveřejněn fototranistor. Čočka slouží k usměrnění světla ze světelného zdroje, který se nachází v jejím ohnisku.

Možnost využít světla jiné vlnové délky než má to, které slouží k osvětlení, znamená doplnit optickou část čidla filtry a používat

speciální fotonky. Pro amatérskou výrobu je tento způsob méně vhodný.

Na rotující části zařízení, jejíž rychlosť chceme mériť, vytvoříme odraznou plošku. Může to být např. kousek bílé samolepicí tapety (v zahraničí jsou pro tento účel vyráběny speciální reflexní samolepicí pásky), nalepené na tmavém pozadí. Lze také naopak na světlou rotující část nalepit proužek matné černé pásky. Při větších rychlostech je vhodnější použít barevný lak, neboť samolepicí pásky se odlepují.

Signál z fototranzistoru zesílíme a tvarujeme. Tím lze zlepšit citlivost čidla a získat impulsy s dostatečně strmými hranami pro další zpracování v číslicových obvodech. Na obr. 124 jsou zapojení vhodná pro tuto funkci.

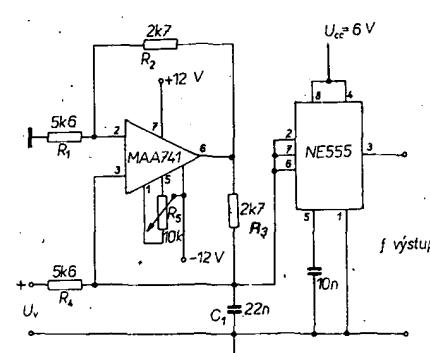
Zapojení podle obr. 124 a vy náročné aplikace. Zdroj svě dostatečně výkonný, vzdálení odrazné plochy malá a odrazný být dostatečně velké. Zapojení zesílení signálu z fototranzistoru tranzistoru KSY82. Signál pro ho číslicového zpracování tvaru TTL. Odpor, kterým jsc vytváří hysterézi, zmenšující ci na rušivé signály a zlepšuje výstupní impulsů.

Složitější zapojení, které je upravuje i šířku výstupních impulzů. Výstupní impuls je vytvářen pomocí tranzistoru, který je pripojen k bázi druhého tranzistoru. Dva logické invertory, které jsou tvarově upravovány, poskytují výběr do emitoru druhého tranzistoru. Členy R a C spolu s hradlem NAND obzvláště zlepšují výstupní impuls.

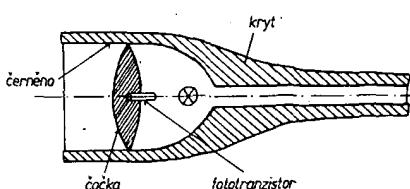
o sírce asi 5 μ s. Na obr. 124c je zesilovač, k zlepšuje citlivost fotoelektrického zapojení je použit lineární obvod MAA145. Citlivost zesílení výstupních impulsů lze nastavit R_1 a R_2 . Obvod je založen na fototranzistoru v obr. 124b, nutno používat citlivý snímač, vykole dbát na jeho vhodné příslušné napětí. Nejdůležitější je výběr správnou činností otáčekem

Impulzy ze snímače počítáče, který pracuje v kódu toho, zda chceme znát po sekundu nebo za minutu, odmým impulsem čas a zajistíme čítače do obvodu zápisu a indičtač nuluje. Funkce je patrná schématu na obr. 125. Impulzy obvodu musí být dostatečně dlouhé, neboť na nich závisí celý otáčkoměr. Hodinový obvod přepínačem rozsahu, který tak přináší desetinné tečky na zobrazení.

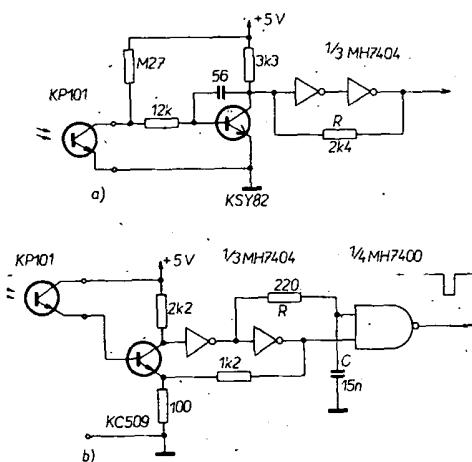
Mějme např. dvoudekadový sem a zobrazením. Bude-li ho každou sekundu generovat závací impuls, bude otáčkoměr



Obr. 122. Převodník napětí/kmitočet



Obr. 123 Konstrukční uspořádání snímače



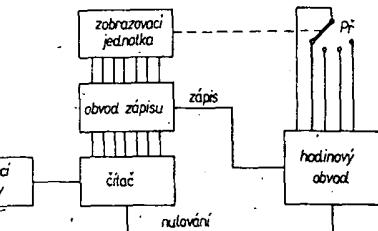
Obr. 124. Obvody fototranzistoru

sahu 00 až 99 ot/s. Pokud budou impulsy generovány každých 10 s, bude rozsah otáčkoměru 0 až 9,9 ot/s a naopak při generování impulsů po 0,1 s vyhoví otáčkoměr pro rozsah 0 až 990 ot/s. Tentokrát však s přesností 10 ot/s.

Chceme-li, aby otáčkoměr ukazoval počet otáček za minutu, postačí upravit hodinový obvod tak, aby generoval impulsy vždy za

minutu nebo v čase desetkrát, stokrát atd. kratším, podle zvoleného rozsahu.

Z uvedeného vyplývá jedna zásadní nečistotnost tohoto způsobu měření rychlosti otáčení – obvod se totiž nehodí pro měření malých rychlostí otáčení. Chceme-li např. s dostatečnou přesností určit rychlosť otáčení gramofonového talíře (33 ot/min) a průběžně kontrolovat kolísání jeho rychlosti; musí-

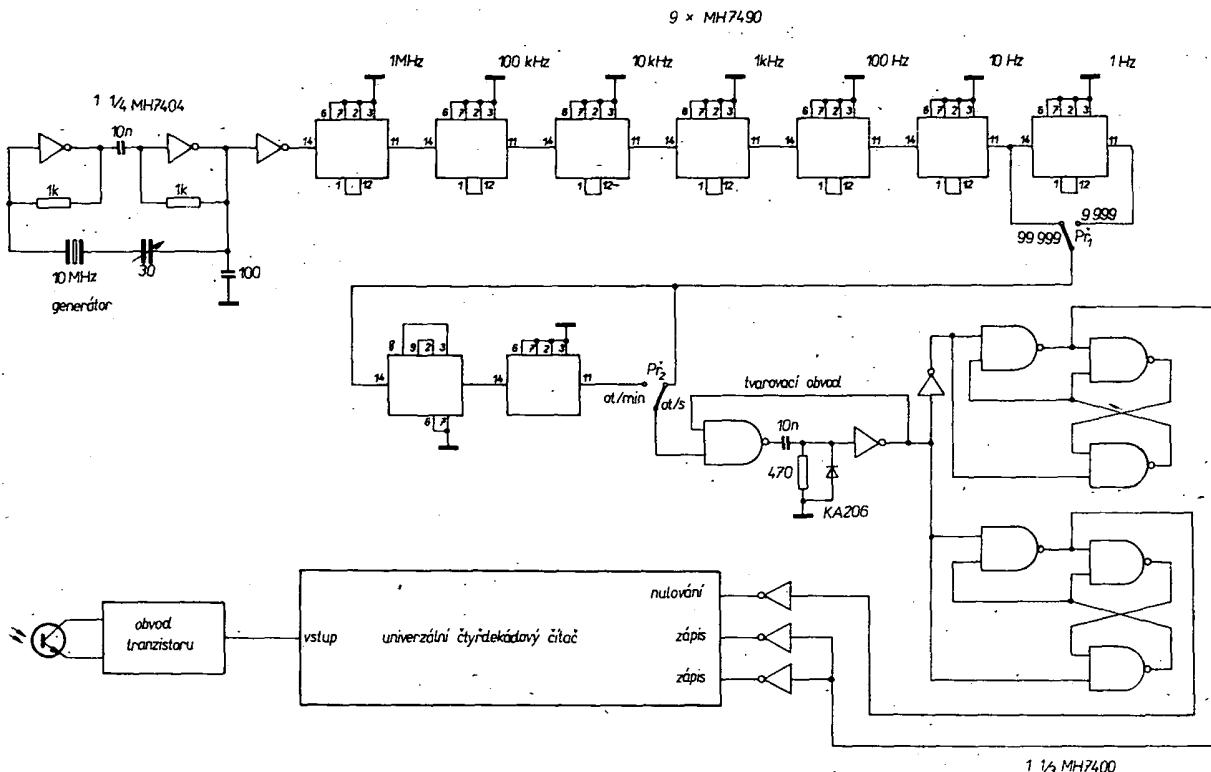


Obr. 125. Blokové schéma otáčkoměru

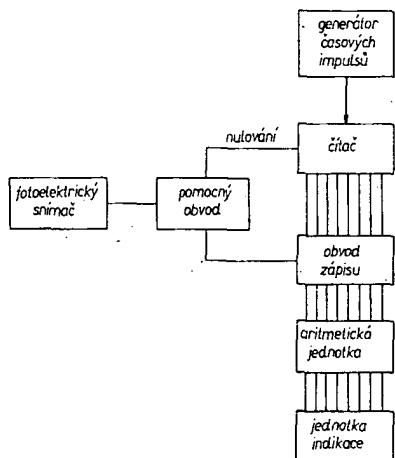
me čekat na výsledek celou minutu. Po této době se totiž čítač naplní hodnotou 33 (ot/min). Přitom je možné, že během této minuty jeho rychlosť značně kolísá a otáčkoměr nám tuto skutečnost „zatají“. Proto se tohoto zapojení může využívat pouze pro větší rychlosť otáčení. I když to závisí samozřejmě na způsobu použití, lze obecně tvrdit, že vzhledem k setrvačným hmotám je únosné snímat počet otáček maximálně každých 10 s. To odpovídá nejnižšemu rozsahu otáčkoměru 1000 ot/min, popř. 10 ot/s.

Abychom tuto nevýhodu „obešli“, je možno rotující část, jejíž rychlosť otáčení měříme, umístit větší počet odrazných plošek. Z hlediska snadného přepočtu je nevhodnější volit počet plošek jako násobek deseti. Plošky je však nutno rozmístit rovnoměrně po celém obvodu rotující součásti, což často činí značné potíže. Průmyslově jsou vyráběny speciální fotoelektrické impulsní snímače, které generují na jedinou otáčku až několik tisíc impulsů s dokonalou rovnoměrností. Tyto snímače se např. používají při odměřování u číslicově řízených strojů. Vyrábí je např. TESLA Kolín k. p. pod označením 1ME2, nebo ZAVT k. p. s označením IRC. Takové snímače nejsou určeny pro rychlosť otáčení menší než 1000 ot/min. Jejich cena je však značná a pro amatéry jsou nedostupné.

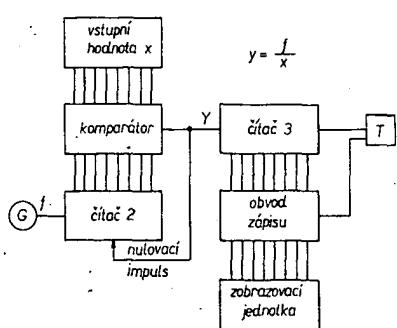
Ověřené zapojení otáčkoměru je na obr. 126. Otáčkoměr je čtyřdekádový a k jeho stavbě je využito univerzálního čtyřdekádó-



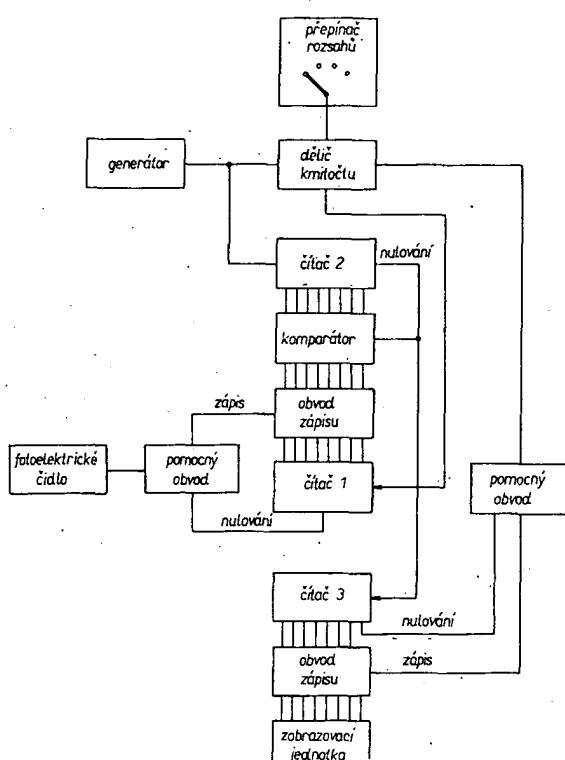
Obr. 126. Otáčkoměr



Obr. 127. Blokové schéma otáčkoměru pro malé rychlosti otáčení



Obr. 128. Náhradní zapojení aritmetického obvodu



Obr. 129. Celkové blokové schéma obvodu pro přepočet doby 1 otáčky na počet otáček za časovou jednotku

vého čítače, který byl včetně návrhu desky s plošnými spoji popsán v části Děliče kmitočtu a čítače v tomto AR B. Na desce s plošnými spoji nemusí být osazeny integrované obvody MH7405 a ÚCY7486N. Deska s plošnými spoji může být popř. i zmenšena o plochu, na které jsou tyto IO umístěny.

Hodinový obvod zpracovává kmitočet krystalového generátoru 10 MHz. Tento kmitočet je v sedmi IO typu MH7490 dělen na potřebné impulsy s kmitočtem 1 Hz a 10 Hz. Toto dělení odpovídá rozsahu otáčkoměru 9999 0t/s a 99990 0t/s. Větší rozsah samozřejmě nevyužijeme pro běžná měření rychlosti otáčení.

Druhý přepínač zapojuje do řetězce další dělič kmitočtu s dělicím poměrem 1:60. Tím jsou oba rozsahy upraveny pro minutový údaj, tj. pro rozsahy 9999 0t/min a 99990 0t/min. Impulsy z děliče kmitočtu jsou v tvarovacím obvodu upraveny na impulsy o šířce asi 5 µs. Nábehovou hranou v tohoto impulsu je generován krátký zápisový impuls a sestupnou hranou nulovací impuls do čítače. Otáčkoměr odebírá ze zdroje stabilizovaného napětí 5 V asi 0,9 A. Zobrazovací sedmissegmentové jednotky lze napájet z nestabilizovaného zdroje a tím zmenšit odběr ze zdroje 5 V na přibližně 0,7 A.

Pro otáčkoměry s malými rozsahy měřených rychlostí otáčení se lépe hodí zapojení, které je blokově znázorněno na obr. 127. Jedná se vlastně o měření času, za který se rotující část otocí jedenkrát. Naměřený čas se přepočítá pro snadnou orientaci na počet otáček za sekundu nebo minutu. Generátor časových impulsů plní čítač, jehož obsah se vždy po impulsu z fotoelektrického snímače zapíše do obvodu zápisu a čítač se nuluje. K přepočtu může sloužit např. aritmetická jednotka, jejíž výsledek je indikován na panelu přístroje. Aritmetická jednotka vytváří převratnou hodnotu naměřeného času

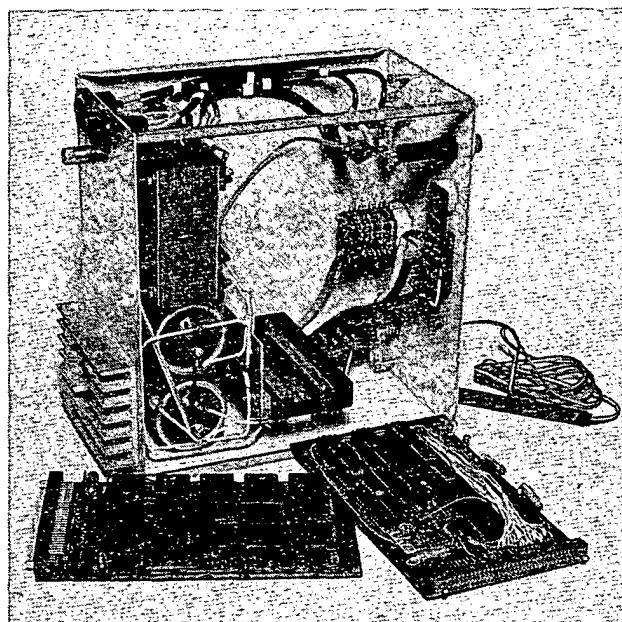
jedné otáčky a tento údaj násobí konstantou, úměrnou požadovanému rozsahu. I když aritmetická jednotka je běžným obvodem z nejlevnějších kapesních kalkulaček, je pro našeho amatéra (a nejen amatéra) těžko dostupná. Dražší, avšak dostupné řešení znamená použít obvod podle blokového schématu na obr. 128.

Údaj o změřeném čase je ve tvaru kódu BCD přiveden na vstup číslicového komparátoru. Na párové vstupy komparátoru jsou připojeny výstupy z pomocného čítače 2. Tento čítač je připojen ke generátoru. Kmitočet generátoru ovlivňuje rozsah otáčkoměru. Při souhlasném obsahu čítače 2 s časem jedné otáčky vyšle komparátor impuls, který nuluje čítač 2 a současně je přiveden na vstup čítače 3. Četnost těchto komparačních impulsů je tím menší, čím větší je doba jedné otáčky rotujícího předmětu. Když je např. tento čas roven nejmenšímu obsahu čítače, tj. 1, dochází ke komparaci při každém impulsu z generátoru. Kmitočet signálu, který plní čítač 3, je roven kmitočtu signálu generátoru. Při vstupní hodnotě N je kmitočet generátoru dělen číslem N . Přepíšeme-li obsah čítače 3 za určitý časový úsek do klopných obvodů a čítač 3 vynulujeme, je obsah klopných obvodů, který zobrazujeme, nepřímo úměrný času, jedné otáčky. Tímto způsobem uskutečníme potřebný přepočet doby otáčení na počet otáček za minutu (sekundu). Obvod označený T měří časový úsek požadovaný k přepisu čítače 3. Změnou časového úseku je možno měnit také rozsah otáčkoměru.

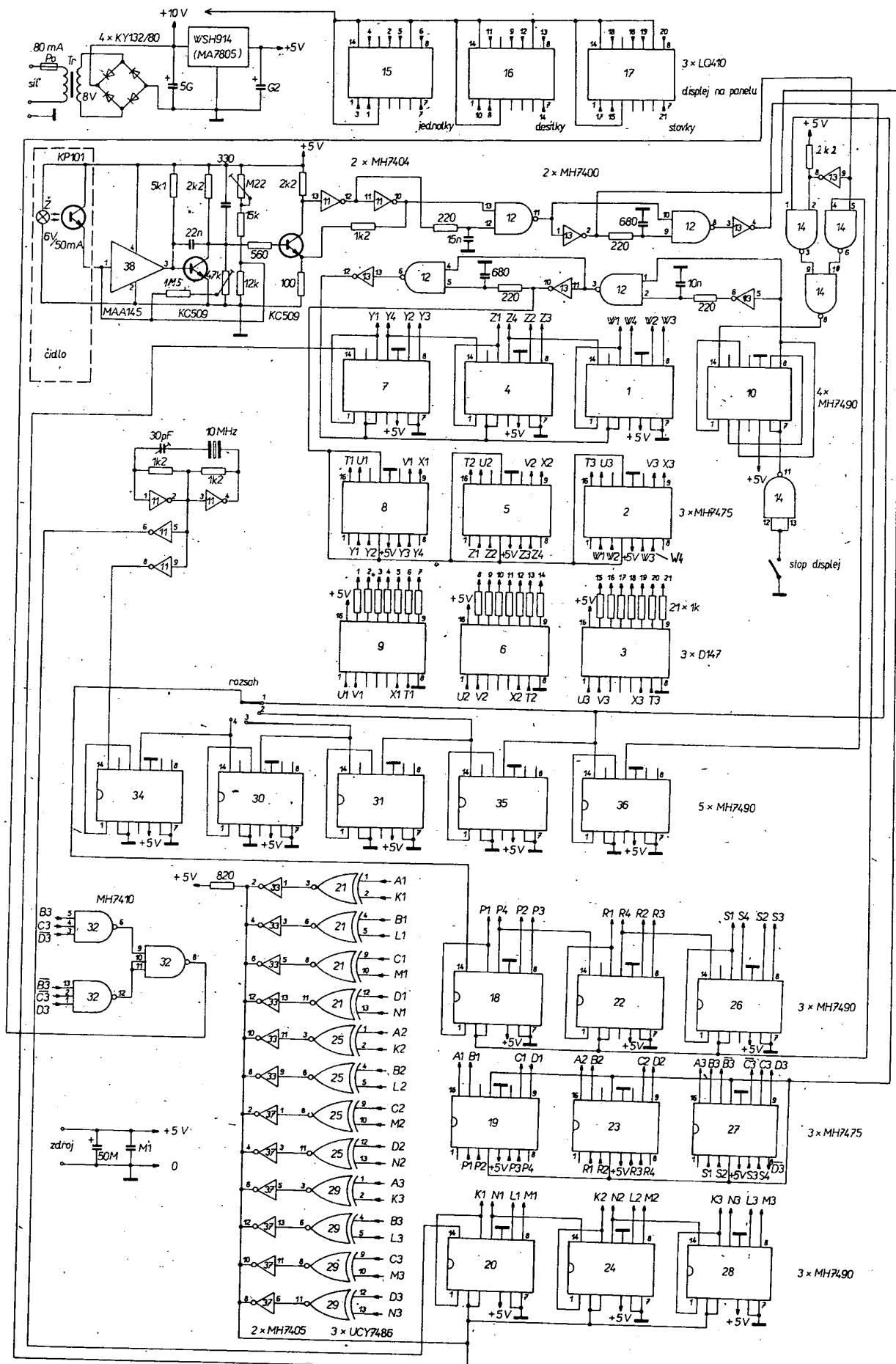
Celkové blokové schéma otáčkoměru je na obr. 129. Otáčkoměr je sestaven z čidla, generátoru, děliče kmitočtu, tří čítačů, komparátoru, dvou obvodů zápisu, pomocných obvodů a obvodu indikace. Otáčkoměr je tedy poměrně složitější než podle obr. 128, avšak některé obvody jsou shodné. Bylo by možno přepínat funkci čítače podle obou způsobů pro různé rychlosti otáčení.

Bez obvodů samocínného přepínání rozsahů byl otáčkoměr realizován na dvou univerzálních deskách s plošnými spoji. Vnější vzhled přístroje je zřejmý z fotografie na titulní straně obálky, a vnitřní uspořádání otáčkoměru je na obr. 131. Skutečné zapojení je na schématu v obr. 130.

Impulsy z optické sondy jsou tvarovány v integrovaném obvodu MAA145 a ve dvou tranzistorech KC509. V hradle číslicových IO jsou impulsy tvaro-



Obr. 131. Provedení otáčkoměru



Obr. 130. Celkové schéma otáčkoměru

vány a přivedený k obvodům zápisu IO_{19} , IO_{23} a IO_{27} . Požděný impuls je přiveden k obvodům nulování IO_{18} , IO_{22} a IO_{26} . Tento čítač je připojen na střed přepínače rozsahů. Polohy přepínače odpovídají následující tabulce:

Poloha	Rozsah [ot/min]	Násobitel
1	60 až 599	$\times 1$
2	600 až 5 990	$\times 10$
3	6 000 až 59 900	$\times 100$
4	60 000 až 599 000	$\times 1000$

Nevýhodou zapojení je, že musíme znát nebo odzkoušet správný rozsah. Při zvolení nesprávného rozsahu ukazuje přístroj ne-správnou rychlosť otáčení.

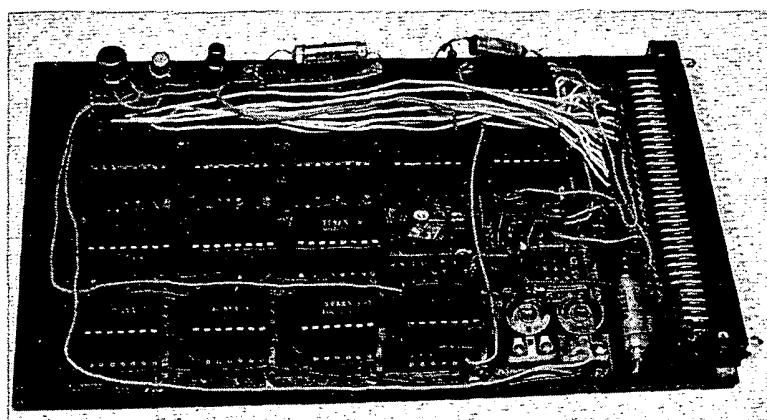
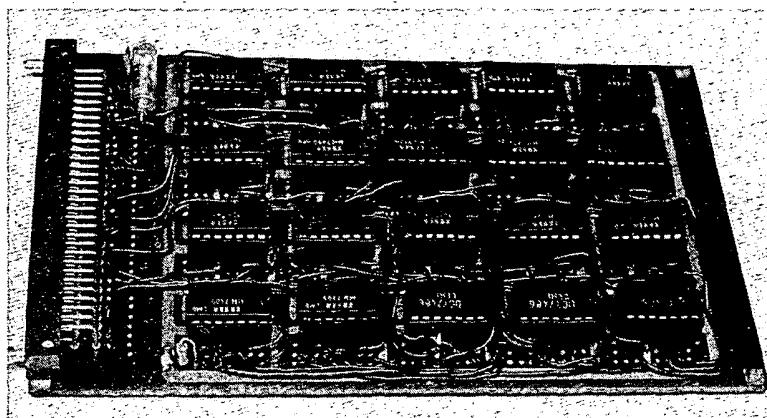
Kmitočet, kterým odměřujeme čas, je odvozen z krystalového oscilátoru.

Integrované obvody jsou napájeny ze stabilizovaného zdroje 5 V, který je osazen integrovaným stabilizátorem WSH914 nebo MA7805. Nestabilizované napětí z filtracního kondenzátoru napájí zobrazovací jednotky LQ410.

Tlačítko STOP je aretační a lze jím blokovat čítač IO_{10} a tak nechat „zapsaný“ údaj na displeji.

Ve funkci komparátoru, v němž se porovnává údaj čítače s údajem úměrným době jedné otáčky, jsou použity členy EXCLUSIVE-OR UCY7486.

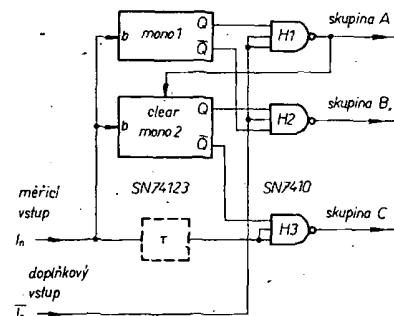
Osazené univerzální desky s plošnými spoji otáčkoměru



Nskupinový diskriminátor šírky impulsu

V zařízeních, zpracovávajících impulsní signály, je často nutné klasifikovat či třídit jednotlivé impulsy podle doby trvání do několika skupin. Všimněme si jednoduchého řešení, jehož autorem je Ind. P. Reddy.

Zapojení na obr. 1 klasifikuje impulsy do tří skupin. Vidíme, že je k tomu zapotřebí pouze dvou pouzder běžných obvodů TTL. Jednotlivé hranice mezi zvolenými třemi skupinami mohou být nezávisle upravovány a mohou se pohybovat od několika desítek ns do několika s. Především jsou užity dva monostabilní klopné obvody. (Platí, že pro Nskupinový diskriminátor je zapotřebí $N-1$ monostabilních obvodů). Při uvažovaném rozdělení do tří skupin patří do první impulsu o šířce 0 až



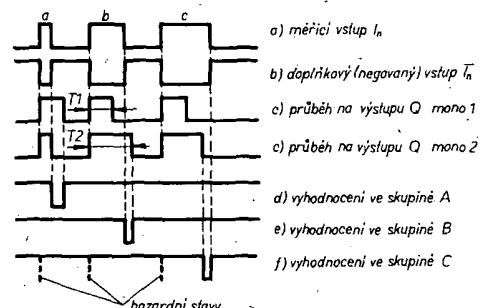
Obr. 1. Schéma diskriminátoru

t_1 , do druhé t_1 až t_2 a konečně do třetí impulsu, delší než t_2 . Přitom t_1 je šířka impulsu prvního, t_2 druhého monostabilního obvodu. Na diskriminátor je třeba zavést vstupní impulsy pomocí měřicího a doplítkového (negovaného) vstupu. Průběhy, usnadňující pochopení funkce diskriminátoru, jsou v časovém diagramu, obr. 2. Náběžná hraná každého impulsu na měřicím vstupu spustí mono 1 a mono 2 současně. Je-li šířka vstupního impulsu menší než t_1 , výstup hradla H1 → log. 0 a nuluje mono 2. Výstupy hradel H2, H3 setrvávají na úrovni log. 1. To proto, že hradlo H2 je po dobu t_1 blokováno výstupem \bar{Q} mono 1, hradlo H3 mono 2. Tato situace odpovídá v obr. 2 impulsu a). Bude-li šířka vstupního impulsu $t_1 < t_{imp} < t_2$, setrvávají na log. 1 hradla H1, H3, na log. 0 přechází výstup hradla H2. A konečně při $t_{imp} > t_2$ zůstávají na log. 1 výstupy hradla H1, H2, na log. 0 se mění H3. Mezi jednotlivými skupinami lze upravit změnou doby kyvú mono 1, mono 2.

Zapojení zasluhuje doplnit několika poznámkami se zřetelem na dokonalou činnost, na blokování falešných impulsů,

ke kterým by mohlo docházet po startu monostabilních obvodů. Pokud mezi měřicím a doplítkovým vstupním signálem nebude žádná časová koincidence, lze předpokládat, že hradla H1, H2 budou pracovat přesně. Výstupy Q, popř. \bar{Q} reagují na hranu hodinového impulsu s určitým reakčním zpožděním, které stačí výstupy obou hradel při náběhu vstupního impulsu blokovat. Snaha o ušetření třetího monostabilního obvodu však vede k hazardnímu stavu u hradla H3. V klidovém stavu je na výstupu Q obvodu mono 2 úroveň log. 1. Náběžná hraná impulsu na měřicím vstupu překládá mono 2 po dobu reakčního zpoždění výstupu \bar{Q} za hodinovým vstupem se však na obou vstupech hradla H3 vyskytnou úrovne log. 1, které způsobí mžikové překlopení hradla H3 na log. 0 (na jeho výstupu). Pokud se budou výstupy jednotlivých skupin dále ukládat např. do střádačů nebo čítačů, mělo by to za následek falešné údaje. Proto by bylo třeba zapojení upravit vložením zpoždovacího článku do vstupu hradla H3, jak je na obr. 1 znázorněno čárkovaně. Zapojení lze snadno rozšířit na větší počet klasifikačních tříd.

Kyrs



Obr. 2. Diagram, popisující rozdělení impulsů podle šírky do klasifikačních skupin